

Ing. Katarína Kaduchová, PhD.
doc. Ing. Richard Lenhard, PhD.
Ing. Patrik Nemeč, PhD.

PREMENY ENERGIE V ENERGETIKE



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

V rámci projektu: **Inovace vzdělávacích programů v oblasti energetiky**

ITMS2014+: 304011U698

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE

Strojnícka fakulta

Ing. Katarína Kaduchová, PhD.

doc. Ing. Richard Lenhard, PhD.

Ing. Patrik Nemeč, PhD.

PREMENY ENERGIE V ENERGETIKE

Vydavateľstvo a tlač: Cofin, a.s.

2022



INTERREG V-A
SLOVENSKÁ REPUBLIKA
ČESKÁ REPUBLIKA

Publikácia bola vydaná s podporou:

Programu **Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika**

Publikácia je súčasťou projektu:

Inovace vzdělávacích programů v oblasti energetiky / IVPVOE

ITMS2014+: 304011U698



EURÓPSKA ÚNIA
EURÓPSKY FOND
REGIONÁLNEHO ROZVOJA
SPOLOČNE BEZ HRANÍC

Projekt je spolufinancovaný:

Európskou úniou a Európskym fondom regionálneho rozvoja (EFRR)

Spoločne bez hraníc

Recenzent:

doc. Ing. Andrej Kapjor, PhD.

Autor:

Ing. Katarína Kaduchová, PhD. (kap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11)

doc. Ing. Richard Lenhard, PhD. (kap. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11)

Ing. Patrik Nemeč, PhD. (kap. 8, 9)

Vydavateľstvo a tlač: Cofin, a.s.

© K. Kaduchová, R. Lenhard, P. Nemeč, 2022

ISBN 978-80-973466-8-3

OBSAH

ZOZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ, SYMBOLOV A SKRATIEK	5
ÚVOD	15
1. VÝZNAM ENERGIE	17
2. ENERGIE A ICH PREMENY	21
2.1. ENERGETICKÁ BILANCIA ZEME	21
3. ENERGETICKÉ ZDROJE	25
3.1. KLASIFIKÁCIA ENERGETICKÝCH ZDROJOV	25
4. NEOBNOVITEĽNÉ ZDROJE ENERGIE	31
4.1. FOSÍLNE PALIVÁ	31
4.2. JADROVÉ PALIVÁ	32
4.2.1. <i>Jadrová energia</i>	33
4.2.2. <i>Jadrové elektrárne</i>	33
4.2.3. <i>Bezpečnosť jadrových elektrární</i>	36
5. OBNOVITEĽNÉ ZDROJE ENERGIE	39
5.1. CHARAKTERISTIKA JEDNOTLIVÝCH DRUHOV OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE....	39
5.2. POTENCIÁL VYUŽÍVANIA OBNOVITEĽNÝCH ZDROJOV ENERGIE	42
5.2.1. <i>Obnoviteľné zdroje energie pre výrobu elektriny</i>	43
5.2.2. <i>Obnoviteľné zdroje energie na výrobu tepla a chladu</i>	44
5.2.3. <i>Obnoviteľné zdroje energie pre výrobu biopalív</i>	45
5.2.4. <i>Scenáre využívania obnoviteľných zdrojov energie pre roky 2020 a 2030</i> ...	46
6. GEOTERMÁLNA ENERGIA	49
6.1. SPÔSOBY ZÍSKAVANIA GEOTERMÁLNEJ ENERGIE	50
6.2. GEOTERMÁLNE ELEKTRÁRNE	51
6.3. VYUŽÍVANIE GEOTERMÁLNEJ ENERGIE	52
6.4. VYUŽÍVANIE GEOTERMÁLNEJ ENERGIE NA VÝROBU ELEKTRICKEJ ENERGIE	53
6.5. TEPELNÉ ČERPADLÁ	58
6.6. ZDROJE TEPLA PRE TEPELNÉ ČERPADLÁ	60
6.7. MERANIE VÝKONOVÝCH CHARAKTERISTÍK PLYNOVÉHO A ELEKTRICKÉHO	
TEPELNÉHO ČERPADLA	65
6.7.1. <i>Úvod a ciele merania</i>	65
6.7.2. <i>Použité metódy a vybavenie pre meranie</i>	65
6.7.3. <i>Postup merania</i>	67
6.7.4. <i>Spracovanie a vyhodnotenie výsledkov</i>	67
7. VODNÁ ENERGIA	71
7.1. ENERGIA Z MORA	72

7.1.1.	<i>Tepelná energia z mora</i>	73
7.1.2.	<i>Energia morského prílivu a odlivu</i>	73
7.1.3.	<i>Energia morských vln a prúdov</i>	75
7.1.4.	<i>Energia teplotných gradientov oceánov</i>	75
7.2.	ENERGIA Z MORSKÝCH PRÚDOV.....	77
7.3.	ENERGIA RIEK, RIEČOK A POTOKOV.....	77
7.3.1.	<i>Malé vodné elektrárne</i>	79
7.4.	VODNÉ TURBÍNY.....	80
8.	VETERNÁ ENERGIA	83
8.1.	FAKTORY VPLÝVAJÚCE NA VETERNÚ ENERGIU.....	85
8.2.	VETERNÉ TURBÍNY.....	87
8.2.1.	<i>Odporové motory</i>	87
8.2.2.	<i>Vztlakové motory</i>	90
8.2.3.	<i>Veterné turbíny s horizontálnou osou</i>	92
8.2.4.	<i>Veterné turbíny s vertikálnou osou</i>	93
8.2.5.	<i>Konštrukcia veternej turbíny</i>	93
8.2.6.	<i>Účinnosť veterných turbín</i>	96
8.3.	VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE.....	96
8.4.	VETERNÉ ELEKTRÁRNE.....	99
8.4.1.	<i>Systémy veterných elektrární</i>	103
8.5.	VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE NA SLOVENSKU.....	106
8.6.	EXPERIMENTÁLNE OVERENIE FUNKCIE VETERNEJ TURBÍNY S VERTIKÁLNOU OSOU.....	108
9.	BIOMASA	111
9.1.	VLASTNOSTI TUHEJ BIOMASY.....	116
9.1.1.	<i>Chemické zloženie biomasy</i>	116
9.1.2.	<i>Zloženie paliva</i>	117
9.1.3.	<i>Obsah vody v biomase</i>	120
9.1.4.	<i>Spalné teplo a výhrevnosť</i>	122
9.1.5.	<i>Merná a sytná hmotnosť paliva</i>	127
9.2.	ZUŠĽAČTŔOVANIE BIOMASY NA ENERGETICKÉ ÚČELY.....	128
9.2.1.	<i>Zušľacht'ovanie dendromasy</i>	128
9.2.2.	<i>Zušľacht'ovanie fytomasy</i>	131
9.3.	SPRACOVÁVANIE BIOMASY NA ENERGETICKÉ ÚČELY.....	133
9.3.1.	<i>Termochemické premeny biomasy</i>	133
9.3.2.	<i>Biochemické premeny biomasy</i>	140
9.4.	EXPERIMENTÁLNE MERANIA VÝKONU A EMISÍ ZDROJA TEPLA SPAĽUJÚCEHO BIOMASU.....	143
9.4.1.	<i>Meranie výkonu zdroja tepla</i>	143
9.4.2.	<i>Meranie emisií</i>	144
9.4.3.	<i>Meranie tuhých znečisťujúcich látok</i>	146
9.4.4.	<i>Analýza vplyvu druhu paliva</i>	146

9.4.5.	<i>Analýza vplyv vlhkosti paliva</i>	152
10.	SLNEČNÁ ENERGIA	155
10.1.	SLNEČNÉ ŽIARENIE	155
10.2.	TEPLO ZO SLNEČNÉHO ŽIARENIA	157
10.2.1.	<i>Pasívne systémy</i>	157
10.2.2.	<i>Aktívne systémy</i>	157
10.3.	VÝROBA ELEKTRICKEJ ENERGIE Z ENERGIE SLNEČNÉHO ŽIARENIA	161
10.3.1.	<i>Princíp nepriamej premeny slnečnej energie na elektrickú energiu</i>	161
10.3.2.	<i>Princíp priamej premeny slnečnej energie na elektrickú energiu</i>	164
10.4.	VÝROBA TEPELNEJ ENERGIE Z ENERGIE SLNEČNÉHO ŽIARENIA	164
11.	PERSPEKTÍVNE TECHNOLOGIE PREMIEN ENERGIE	167
11.1.	PALIVOVÉ ČLÁNKY	167
11.2.	MIKROBIÁLNE PALIVOVÉ ČLÁNKY	173
11.3.	MAGNETOHYDRODYNAMICKÉ GENERÁTORY	174
11.4.	TERMOJADROVÁ FÚZIA	175
11.5.	VODÍKOVÁ ENERGETIKA	177
11.5.1.	<i>Vodík</i>	177
11.5.2.	<i>Využitie vodíka</i>	177
11.5.3.	<i>Výroba vodíka</i>	179
11.5.4.	<i>Výrobné technológie vodíka</i>	179
11.5.5.	<i>Doprava, skladovanie a distribúcia vodíka</i>	183
11.5.6.	<i>Bezpečnosť vodíka</i>	184
11.6.	AKUMULÁCIA TEPLA	185
11.6.1.	<i>Druhy systémov</i>	188
11.7.	HYDRÁTY ZEMNÉHO PLYNU	189
11.7.1.	<i>Tvorba hydrátov zemného plynu</i>	192
11.7.2.	<i>Výskyt hydrátov zemného plynu</i>	193
11.8.	SPÄTNÉ ZÍSKAVANIE TEPLA Z TECHNOLOGICKÝCH PROCESOV	197
11.9.	VYUŽITIE STREDNEPOTENCIÁLNEHO TEPLA SPALÍN Z TAVIACEHO AGREGÁTU V TECHNOLOGII PRETAVOVANIA HLINÍKOVÝCH ODPADOV	197
11.9.1.	<i>Využitie odťahu spalín z taviaceho agregátu</i>	197
11.9.2.	<i>Meranie teplotných parametrov spalín a tepelného toku na modelovom výmenníku tepla</i>	199
11.9.3.	<i>Návrh usporiadania systému spätného získavania tepla z taviaceho agregátu</i>	200
11.9.4.	<i>Konštrukčný návrh rekuperačného zariadenia</i>	202
11.10.	MERANIE A VYHODNOTENIE VÝKONOVÝCH PARAMETROV SYSTÉMU NA SPÄTNÉ ZÍSKAVANIE TEPLA ZO SPALÍN PECE NA TAVENIE SEKUNDÁRNEHO HLINÍKA	206
11.11.	VYUŽITIE VYSOKOPOTENCIÁLNEHO TEPLA SPALÍN Z TAVIACEHO AGREGÁTU V TECHNOLOGIÍ VÝROBY FEROZLIATIN	208
11.11.1.	<i>Funkcia zariadenia</i>	209
11.11.2.	<i>Popis zariadenia klobúka pece</i>	211

11.11.3. <i>Meranie a vyhodnotenie výkonových parametrov systému na spätné získavanie tepla z klobúka elektrickej oblúkovej pece EOP</i>	212
11.12. VYUŽITIE STREDNEPOTENCIÁLNEHO TEPLA SPALÍN Z TAVIACEHO AGREGÁTU V TECHNOLOGII VÝROBY KERAMICKÝCH IZOLÁTOROV	213
11.12.1. <i>Špecifikovanie technického problému</i>	214
11.12.2. <i>Návrh koncepcie riešenia</i>	215
11.12.3. <i>Tepelno-technické požiadavky na výmenníky tepla spaliny – vzduch</i>	216
11.12.4. <i>Základný konštrukčný návrh VT RS</i>	217
11.12.5. <i>Akumulácia tepla</i>	218
11.12.6. <i>Návrh merania a regulácie systému a jeho riadenie</i>	219
LITERATÚRA	221

ZOZNAM POUŽITÝCH OZNAČENÍ, SYMBOLOV A SKRATIEK

A	[kg.kg ⁻¹]	obsah popola
A	[m ²]	plocha cez ktorú preteká daný objem vzduchu
A	[-]	popol
Al ₂ O ₃	[-]	oxid hlinitý
B	[-]	bór
B	[T]	magnetická indukcia
c	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	špecifická tepelná kapacita
c _p	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	špecifická tepelná kapacita teplotnosného média
c _p	[J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	špecifická hmotnosť vzduchu
C	[-]	uhlík
Ca	[-]	vápnik
CaO	[-]	oxid vápenatý
Cl	[-]	chlór
Co	[-]	kobalt
Cr	[-]	chróm
Cu	[-]	meď
CH ₄	[-]	metán
CO	[-]	oxid uhoľnatý
CO ₂	[-]	oxid uhličitý
CXHY	[-]	uhl'ovodíky
C ₂₊	[-]	kation uhlíka
C ₂ H ₆	[-]	etán
C ₃ H ₈	[-]	propán
C ₄ H ₁₀	[-]	bután
D	[-]	deutérium
De	[mm]	vonkajší priemer rúrky
Di	[mm]	vnútorný priemer rúrky

E	[J]	energia
E_v	[J]	energia vetra
f	[Hz]	frekvencia
Fe	[-]	železo
Fe_2O_3	[-]	oxid železitý
h	[-]	horľavina
h	[m]	výška
H, H_2	[-]	vodík
He	[-]	hélium
HCl	[-]	kyselina chlorovodíková
HCN	[-]	kyanovodík
HI	[-]	jodovodík
H_2	[kg.kg ⁻¹]	obsah vodíka v palive
H_2O	[-]	voda
H_2S	[-]	sírovodík
H_2SO_4	[-]	kyselina sírová
I	[-]	jód
I	[A]	prúd
j	[A.m ⁻²]	prúdová hustota
K	[-]	draslík
K_2O	[-]	oxid draselný
K_2CO_3	[-]	uhličitan draselný
L	[mm]	dĺžka rúrky
Li	[-]	lítium
Li_2CO_3	[-]	uhličitan lítny
m	[kg]	hmota / hmota vzduchu
\dot{m}	[kg.s ⁻¹]	hmotnostný prietok teplotného média na výstupe zo zdroja tepla
m_d	[g]	hmotnosť absolútne suchej vzorky paliva

m_p	[g]	hmotnosť popola
m_1	[kg]	hmotnosť vzorky surovej drevnej hmoty
m_2	[kg]	hmotnosť vzorky po vysušení
M	[g.mol ⁻¹]	molárna hmotnosť
Mg	[-]	horčík
MgO	[-]	oxid horečnatý
Mn	[-]	mangán
Δm	[kg]	úbytok hmotnosti vzorky vplyvom vysušenia
n	[-]	drsnosť povrchu
n	[-]	neutrón
n	[ot.s ⁻¹]	otáčky
Na	[-]	sodík
Na ₂ CO ₃	[-]	uhličitan sodný
Na ₂ O	[-]	oxid sodný
Ni	[-]	nikel
NHi	[-]	zlúčenina dusíka a vodíka
NH ₃	[-]	amoniak
NO	[-]	oxid dusnatý
NO _x	[-]	oxid dusíka
N ₂	[-]	dusík
O, O ₂	[-]	kyslík
OGC	[-]	organické uhl'ovodíky
O _{2avg}	[%]	priemerná hodnota koncentrácie kyslíka v spalinách
O _{2standardised}	[%]	normalizovaná koncentrácia kyslíka v spalinách
p	[Pa]	tlak
p_{lm}	[m ³]	plnometer (pevný meter)
p_{rm}	[m ³]	priestorový meter
p_{rms}	[m ³]	sypaný meter
P	[W]	výkon

Pb	[-]	olovo
Pu	[-]	plutónium
P _v	[W]	výkon vetra
P ₂ O ₅	[-]	oxid fosforečný
Q	[A.h]	elektrický náboj
Q	[J]	teplo
\dot{Q}	[W, kW]	tepelný výkon zdroja tepla
Q _i	[MJ.kg ⁻¹]	výhrevnosť
Q _s	[MJ.kg ⁻¹]	spalné teplo
Q _{uk}	[GJ]	tepelná energia odovzdaná do ústredného kúrenia pri jednej tavbe
Q _v	[GJ]	tepelná energia odovzdaná na ohrev vzduchu
Q _v	[MJ.kg ⁻¹]	výparné teplo vody
Q _{ZP}	[GJ]	tepelná energia zemného plynu na jednu tavbu
Q _p	[MJ.m ⁻³]	objemová výhrevnosť pre suché drevo
R	[Ω]	záťažný odpor
s	[m]	dráha ktorú prejde pohybujúci sa vzduch
S	[m ²]	plocha
S	[-]	síra
Si	[-]	kremík
SiO ₂	[-]	oxid kremičitý
SO _x	[-]	oxidy síry
SO ₂	[-]	oxid siričitý
t	[s]	čas
t	[°C]	teplota
t _{st}	[°C]	teplota na rozdeľovači pred vstupom do segmentov klobúka EOP23
t ₁	[°C]	teplota na výstupe zo segmentu S1
t ₁	[°C]	teplota spalín za taviacim agregátom

t_1	[°C]	teplota teplotonosného média na výstupe zo zdroja tepla
t_2	[°C]	teplota na výstupe zo segmentu S2
t_2	[°C]	teplota studeného vzduchu na vstupe do modelového výmenníka tepla
t_2	[°C]	teplota teplotonosného média na vstupe do zdroja tepla
t_3	[°C]	teplota na výstupe zo segmentu S3
t_3	[°C]	teplota ohriateho vzduchu na výstupe do modelového výmenníka tepla
t_4	[°C]	teplota nasávaného vzduchu ventilátorom
t_{11}	[°C]	vstup TV do VT zo zberača segmentov klobúka
t_{12}	[°C]	výstup TV z VT
t_{21}	[°C]	vstup TV do VT zo spiatocky sekundára
t_{22}	[°C]	výstup TV z VT do sekundára
T	[K]	teplota
T	[-]	trícium
Th	[-]	tórium
U	[V]	napätie
U	[-]	urán
v	[m.s ⁻¹]	rýchlosť / vzduchu / vetra
v_0^*	[m.s ⁻¹]	priemerná rýchlosť vetra vo výške h_0
v^*	[m.s ⁻¹]	priemerná rýchlosť vetra vo výške h nad zemským povrchom
V	[m ³]	objem vzduchu
V_s	[m ³]	objem
V_1	[m ³ .h ⁻¹]	objemový prietok TV v okruhu klobúka
V_2	[m ³ .h ⁻¹]	objemový prietok TV v sekundári
w	[% , kg.kg ⁻¹]	energetická (relatívna) vlhkosť paliva
w	[%]	relatívna vlhkosť paliva
w	[-]	voda

w_{dr}	[%]	absolútna vlhkosť paliva
X	[ppm]	nameraná produkcia emisie
Y	[$mg \cdot m^{-3}$]	vypočítaná produkcia emisie
Y_2O_3	[-]	oxid yttritým
$Y_{10\%O_2}$	[$mg \cdot m^{-3}$]	normalizovaná hodnota koncentrácie emisie
Zn	[-]	zinok
ZrO_2	[-]	oxid zirkoničitý
λ	[-]	prebytok spaľovacieho vzduchu
ρ	[$kg \cdot m^{-3}$]	hustota
ρ	[$kg \cdot m^{-3}$]	merná hmotnosť paliva
ρ_o	[$kg \cdot m^{-3}$]	merná hmotnosť dreva v absolútne suchom stave
ρ_s	[$kg \cdot m^{-3}$]	sypná hmotnosť
τ	[s]	čas

Skratky

AFC	palivové články s alkalickým elektrolytom
ATES	zásobník tepelnej energie s využitím vody
BTES	zásobník tepelnej energie bez využitia vody
COP	vykurovací faktor
CZT	centralizované zásobovanie teplom
DEZ	druhotné energetické zdroje
EBR	elektrogénny bio-reaktor
EM	elektromotor
EOP	elektrická oblúčková pec
ES	európske spoločenstvo
ETČ	elektrické tepelné čerpadlo
EÚ	Európska únia
FM	frekvenčný menič
G	generátor
HAWT	veterná turbína s horizontálnou osou
HT PEMFC	vysokoteplotný palivový článok s polymérou membránou
KOI	komora ohrevu izolátorov
KP	komorová pec
K1, ... , K8	uzatváracie klapky
LHV	nižšia výhrevná hodnota
LNG	skvapalnený zemný plyn
MCFC	palivové články s tavenými uhličitami
MDT	bionafta
MERO	metylester repkového oleja
MHD generátor	magnetohydrodynamický generátor
MVE	malé vodné elektrárne
MŽP	ministerstvo životného prostredia

N	tlaková níž
NASA	národný úrad pre letectvo a kozmonautiku
O	okruh
OB	obtok s konfúzorom
OF	odfluórovacie zariadenie
OI	ohrev izolátorov
OTEC	premena oceánskej tepelnej energie
OZE	obnoviteľné zdroje energie
O1, ... , O4	okruhy
ph	kyslosť, acidita
ppm	parts per million
P	tlakomer
PAFC	palivové články s kyselinou fosforečnou
PCM	materiály s fázovou zmenou
PEMFC	palivové články s polymérnou membránou
PER	stupeň využitia primárnej energie
PE-XA	sieťovaný polyetylén
PEZ	primárne energetické zdroje
PM 2,5	častice prachu menšie ako 2,5 μm
PM 10	častice prachu menšie ako 10 μm
PTČ	plynové tepelné čerpadlo
PVE	prečerpávacia vodná elektráreň
RS	rozprašovacia sušiareň
SOFC	palivové články s tuhými oxidmi
SR	Slovenská republika
SV	severovýchod
S1, ... , S3	segmenty
Š1	ručný posúvač
T	teplomer / snímač teploty

T	turbína
TČ	tepelné čerpadlo
TV	teplá voda
TZL	tuhé znečisťujúce látky
USA	Spojené štáty americké
UTES	podzemný zásobník tepelnej energie
ÚK	ústredné kúrenie
V	tlaková výš
V	ventilátor
Vt1	výmenník tepla spaliny – vzduch
Vt2	výmenník tepla spaliny – voda
VAWT	veterná turbína s vertikálnou osou
VD	vodné dielo
VE	vodná elektráreň / veterná elektráreň
VP	veterný park
VT	výmenník tepla
VT OI	výmenník tepla spaliny vzduch pre ohrev izolátorov v KOI
VT RS	výmenník tepla spaliny vzduch pre sušenie kalu v RS
V1, V2	snímače prietoku
V1, V2	uzatváracie armatúry
ZVES	združenie pre veternú energiu Slovenska

ÚVOD

Skriptá / Študijné opory, ktoré práve otvárate, vznikli ako výsledok spolupráce medzi Žilinskou univerzitou v Žiline a Výzkumným energetickým centrom, Vysokou školou báňskou – Technickou univerzitou v Ostrave, v rámci projektu: „*Inovace vzdělávacích programů v oblasti energetiky / IVPVOE*“ (ITMS2014+: 304011U698) v rámci operačného programu: Interreg V-A Slovenská republika – Česká republika.

Skriptá / Študijné opory sú rozdelené celkom do 11 kapitol. Prvá kapitola je venovaná významu energie. Druhá kapitola je venovaná energetickej bilancie Zeme. Tretia kapitola je venovaná klasifikácii jednotlivých energetických zdrojov. Štvrtá kapitola je venovaná neobnoviteľným zdrojom energie – fosílna palivá (uhlie, ropa, zemný plyn), netradičné palivá (olejové bridlice, dechtové piesky, jadrové palivá). Piata až desiatu kapitola je venovaná jednotlivým obnoviteľným zdrojom energie (geotermálna energia, vodná energia, veterná energia, biomasa a slnečná energia). Jedenásta kapitola je venovaná perspektívnym technológiám premien energie (palivové články, magnetohydrodynamické generátory, termojadrová fúzia, vodíková energetika, akumulácia tepla, hydráty zemného plynu a spätné získavanie tepla z technologických procesov).

Všetky tieto znalosti sú z pohľadu autorov dôležitými znalosťami a schopnosťami, ktoré by mali študenti/-ky a budúci inžinieri/-ky pre svoje štúdium poznať.

1. VÝZNAM ENERGIE

Dostatok energie je jednou z najdôležitejších podmienok života. Bez energie by celá naša civilizácia zanikla. Dostatočné zdroje energie sú základnou podmienkou všetkého, čo umožňuje bohatší a lepší život ľudstva.

Zvyšovanie životnej úrovne spoločnosti vedie k zvyšovaniu spotreby energie všetkých ušľachtilých foriem. Toto konštatovanie platí pre všetky národy sveta, bez ohľadu na spoločenské zaradenie.

V dnešnej priemyselnej spoločnosti je energia vo všetkých odvetviach nepostrádateľná. Energia je potrebná tak v domácnostiach, ako aj v oblasti priemyselnej výroby, poľnohospodárstva a služieb.

Jednotlivé spôsoby použitia energie majú svoje špecifické vlastnosti a rôzne kvalitatívne stupne. Hodnotovo najvyššie je energia určená na riadenie a informačné účely, najnižšie sa hodnotí nízkoteplotná energia.

Zdroje energie prírodného pôvodu poskytujú priamo využiteľnú energiu len v ohraničenom rozsahu, napríklad svetlo počas dňa, teplo v lete a podobne.

Priemyselné vyspelé štáty spotrebovávajú preto energiu pochádzajúcu zo zariadení, ktoré menia prírodnú energiu na energiu použiteľnú na rôzne účely.

Procesy v systéme zásobovania energiou sú komplexné a vzájomne viazané. Tento systém obsahuje rôzne energetické stupne, ktoré je možné začleniť do štyroch prevádzkových oblastí a sú to:

1. Výroba alebo ťažba primárnych zdrojov, prípadne nositeľov energie (ťažba uhlia v bani).
2. Premena z primárnych na sekundárne nositele energie (palivá a pohonné látky alebo elektrina).
3. Prenos a distribúcia nositeľa energie k spotrebiteľom.
4. Premena konečného nositeľa energie na požadovanú užitočnú energiu.

V súčasnosti sa za najdôležitejšie primárne zdroje považuje ropa, uhlie, zemný plyn, vodná energia a jadrové palivo (urán).

Vo väčšine krajín je pre najbližšie obdobie typické, že energia sa bude aj naďalej zaobšarávať dnes bežne používanými technológiami z primárnych energetických zdrojov. Toto obdobie je však rozhodujúce pre intenzívny technický rozvoj zdrojov energie, od ktorých sa očakávajú zásadné kvantitatívne i kvalitatívne zmeny vo svetových zdrojoch a spotrebe energie.

V budúcom vývoji svetovej energetiky sa už ukazujú fázy rozvoja, ktoré sa líšia dosiahnutým stupňom zabezpečenia nových zdrojov energie, akými sú napríklad energia rýchlych množivých jadrových reaktorov, termojadrová energia, slnečná energia, geotermálna energia a ďalšie (Marko, 1988).

Dosiahnutie výšky úrovne energetickej náročnosti národnej ekonomiky na Slovensku výške dosahovanej v krajinách vyspelých ekonomík sveta, je jedným z hlavných cieľov energetickej politiky Slovenskej republiky. Ide o činnosť spojenú so zabezpečením trvalo udržateľného rozvoja s minimalizovaním nepriaznivých vplyvov využitia energie na životné prostredie.

Znižovanie energetickej náročnosti v jednotlivých odvetviach národného hospodárstva možno napríklad:

- *V priemysle* – v súčasnosti je priemysel poznačený poklesom výrobných činností takmer vo všetkých priemyselných odvetviach, čo sa prejavilo v absolútnom znížení spotreby energie ale aj v zhoršení energetickej náročnosti týchto odvetví. Z dôvodu udržania konkurencieschopnosti slovenskej ekonomiky je preto nevyhnutné odvetvia reštrukturalizovať a postupne ich adaptovať na podmienky vstupu do integračného európskeho procesu. Priemyselné podniky najmä v oblasti s najvyššou spotrebou energie postupne realizujú opatrenia, ktoré prinášajú znižovanie energetickej náročnosti.
- *V stavebníctve a bytovom fonde* – vzhľadom na vysoký percentuálny podiel spotreby energie v budovách (značne množstvo je vo vlastníctve štátu, obcí a spoločností vlastníkov) rastie význam ich zateplovania, progresívneho riešenia stavebných konštrukcií a prvkov, riešenia otvorených výplní z hľadiska ich tepelno-technických vlastností a nasadzovania meracej a regulačnej techniky. Význam znižovania energetickej náročnosti budov vzrastá s liberalizáciou ceny energie. Z pohľadu priemyselných odvetví výroby stavebných hmôt je najväčším spotrebiteľom energie cementársky priemysel, kde sú pri rekonštrukcii rotačných pecí značné rezervy v úsporách energie.
- *V doprave* – opatrenia na zníženie spotreby energie, spojené s dopravou, sa budú orientovať na zníženie celkového prepravného výkonu vylúčením nepotrebných dopravy, stabilizáciou dnešných podielov verejnej dopravy, presunom maximálneho dopravného a prepravného výkonu na energeticky úsporné a účinné dopravné prostriedky a na zlepšenie energetickej účinnosti dopravných prostriedkov. Toto všetko je nutné realizovať s cieľom znížiť spotrebu pohonných hmôt ako jedného z významných znečisťovateľov životného prostredia.
- *V poľnohospodárstve, lesníctve, potravinárskom priemysle* – využitie energetických zdrojov, najmä biomasy na energetické účely sa v štátnej energetickej bilancii a v energetickej efektívnosti národnej ekonomiky neprejavuje, pretože v jestvujúcich ekonomických podmienkach (bez zvýhodnenia štátom) nie je ekonomicky konkurencieschopné s klasickými palivami. Biomasa trvale predstavuje domáci perspektívny energetický zdroj najmä pri zabezpečení centrálnej prípravy tepla. Najväčším

spotrebiteľom energie je potravinársky priemysel, hlavne cukrovary, kde najmä rekonštrukcia odpariek a vaní môže priniesť značné úspory energie.

- *V obchode a službách* – podiel spotreby energie na konečnej spotrebe energie na Slovensku je v porovnaní s vyspelými krajinami malý. Ráta sa s jeho zvyšovaním najmä v dôsledku predpokladanej výstavby supermarketov a hypermarketov. Vytvorí sa tým miesto na využitie solárnych kolektorov, kogeneračných jednotiek a tepelných čerpadiel.
- *V domácnostiach* – v tomto sektore sa predpokladá nárast spotreby energie, ktorú spôsobí zvyšovanie elektrizácie domácnosti a zabezpečenie vyššieho komfortu bývania s cieľom priblížiť sa vybavením domácnosti vyspelým krajinám.

Aktivity efektívneho využitia energie – spoločné pre viaceré odvetvia

Technické opatrenia, ktorých realizácia prináša úspory energie a minimalizuje dopad na životné prostredie a využitia energie sú:

- Združená výroba elektriny a tepla pri centrálnej príprave tepla na vykurovanie a prípravu teplej úžitkovej vody (kogeneračné jednotky).
- Výmena a obnova kotlov a prídavných zariadení na výrobu tepla kotlami s vyššou energetickou účinnosťou (kondenzačné technológie).
- Znižovanie strát energie v jej prenosoch, preprave a doprave.
- Optimalizácia a regulácia využívania energie pri vykurovaní, vetraní, klimatizácií, ohreve, chladení a v ďalších technických a technologických procesoch.
- Tepelná izolácia objektov, najmä obytných domov, budov a budov služieb.
- Využívanie progresívnych svetelných zdrojov a zariadení v osvetľovacej technike.
- Vyššie uplatnenie a využívanie meracej a regulačnej techniky so zameraním na hospodárne využívanie energie.
- Organizačné opatrenia hospodárnosti prevádzky energetických zariadení a využitia energie (Čarnogurská, 2001).

2. ENERGIE A ICH PREMENY

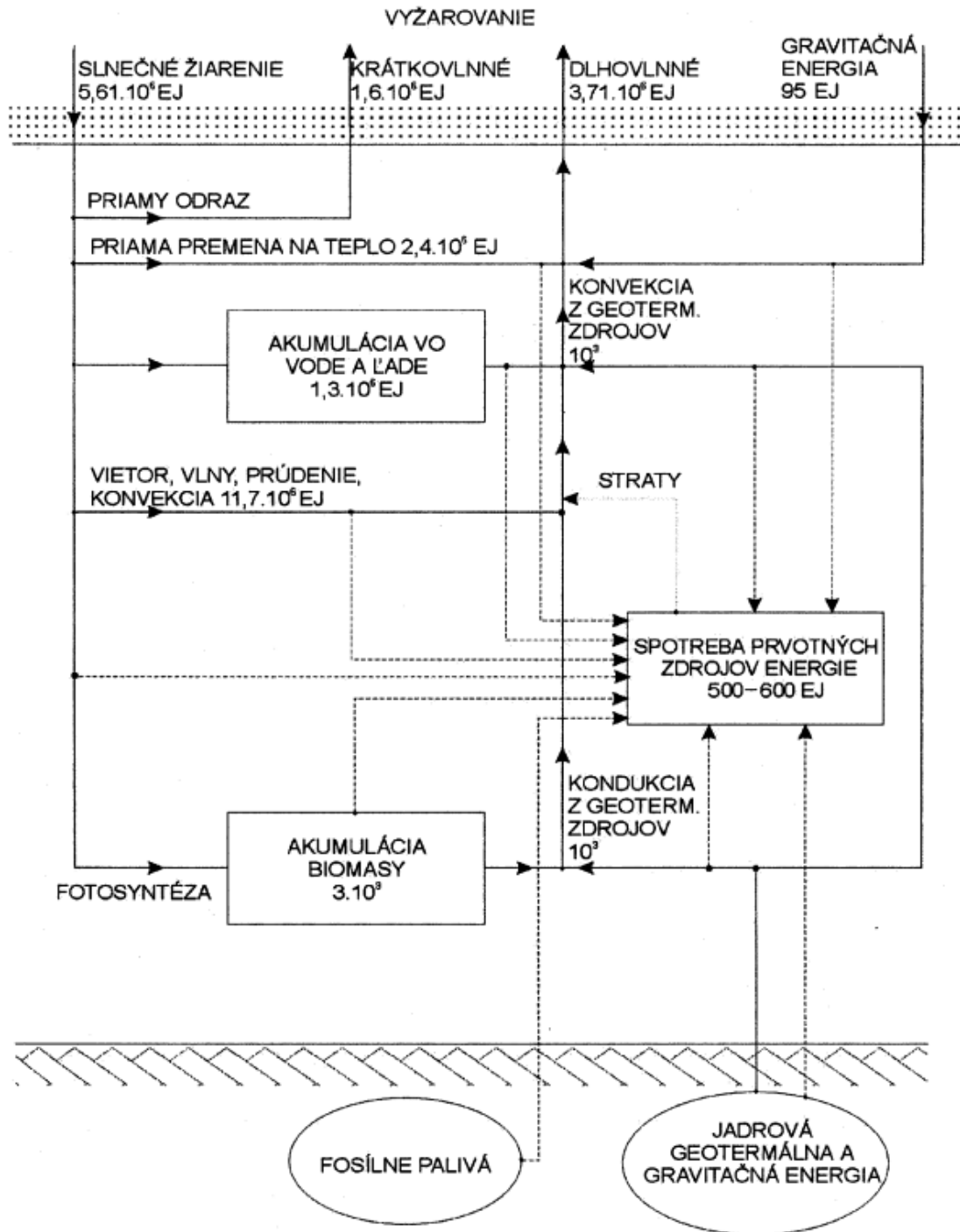
2.1. Energetická bilancia Zeme

Vzťahy medzi jednotlivými zdrojmi energie a premenami energie sa vyjadrujú pomocou energetických bilancií. Energetickú bilanciu Zeme je možné vykonať vo vzťahu Zem – kozmický priestor alebo vo vzťahu medzi prvotnými energetickými zdrojmi a nárokmi na spotrebu energie. Energetické bilancie sú dôležité z hľadiska orientácie v problematike energetických zdrojov a sú východiskom aj pre prognózy spotreby energie.

Na obr. 2.1 je znázornená schéma priemernej ročnej energetickej bilancie Zem – kozmický priestor. Slnko je základným zdrojom energie pre Zem, ktorá zachytáva ročne $5,61 \cdot 10^6$ EJ energie. Z tejto energie sa $1,6 \cdot 10^6$ EJ odráža od atmosféry a povrchu Zeme a $3,71 \cdot 10^6$ EJ sa po rôznych premenách dlhovlnným vyžarovaním rozptyľuje späť do kozmického priestoru. Iba asi 0,035 % z tejto energie sa ročne akumuluje v biomase, menej ako 0,3 % sa premieňa na energiu vetra a morských vln. Veľké množstvá energie sa však akumulujú vo všetkých skupenstvách vody vo forme tepelnej a polohovej energie. Malý podiel na bilancii majú prirodzené energetické premeny, ktoré sú podstatou morských prílívov, odlívov a geotermálnej energie. Všetky formy energie znázornené na obr. 2.1 je možné prakticky využívať ako prvotné energetické zdroje. Energetická spotreba ľudstva je taktiež iba malou časťou uvedených bilančných hodnôt. Súčasnú energetickú situáciu majú globálny charakter a sú spojené s veľkým súborom prírodných, hospodárskych a politických otázok. Prírodné faktory, ani množstvo zásob neohraničujú možnú úroveň spotreby energie v najbližších desaťročiach. Zásoby prvotných energetických zdrojov je možné určiť len približne, pretože ich výskum nie je v celom svete na rovnakej úrovni. Podľa údajov Svetovej energetickej konferencie sa ich celkové množstvo neobnoviteľných prvotných energetických zdrojov určilo na približne $384 \cdot 10^3$ EJ. Prakticky využiteľné zásoby sa najčastejšie odhadujú výpočtom pomocou stredných súčiniteľov vyťažiteľnosti. Súčasný odhad vyťažiteľnosti energetických zdrojov fosílnych palív je uvedený v tabuľke 2.1.

Tabuľka 2.1 Súčasný odhad vyťažiteľnosti energetických zdrojov fosílnych palív (Rapšík, 2004).

Zdroj	Zásoby					
	Dokázané		Predpokladané		Spolu	
	[EJ]	[%]	[EJ]	[%]	[EJ]	[%]
Uhlie	20 134	65,6	141 060	81,4	161 194	78,9
Ropa	3 751	-	8 880	-	12 631	-
Ropný kondenzát	264	13,1	498	5,4	762	6,6
Zemný plyn	2 931	9,5	7 561	4,4	10 492	5,1
Olejové bridlice	1 934	6,5	12 309	7,0	14 243	7,0
Dechtové piesky	1 700	5,5	3 194	1,8	4 894	2,4
Spolu	30 714	100	173 502	100	204 216	100



Obr. 2.1 Priemerná ročná energetická bilancia Zem – kozmický priestor (Rapšík, 2004).

Perspektívne sa podľa údajov Svetovej energetickej konferencie odhaduje rast spotreby svetových energetických zdrojov v roku 2000 na 440 až 645 EJ.

Prognózy zásob prvotných zdrojov energie od rôznych autorov sa zhodujú v niekoľkých faktoroch:

- Zásoby fosílnych palív sú konečné a v niektorých lokalitách skoro vyčerpané.

- Zásoby jadrových štiepnych palív sú taktiež konečné. Využitie množivých jadrových reaktorov v palivovom cykle môže však predĺžiť životnosť zásob o niekoľko storočí.
- Zásoby jadrových fúzných palív sú takmer nevyčerpatel'né.
- Zásoby obnoviteľných zdrojov energie sú síce nevyčerpatel'né, ich využívanie z hľadiska využiteľných výkonov a ročnej vyrobenej energie je však obmedzené vzhľadom na geografické, geologické, technické, technologické a ekonomické dôvody.
- Zásoby druhotných energetických zdrojov sú konečné, no doteraz málo využívané.

Pri hodnotení budúceho vývoja vo využívaní zdrojov energie, energetických premien a spotreby energie treba brať do úvahy:

- Pravdepodobný rast cien energie.
- Medzinárodnú spoluprácu pri riešení globálnych energetických problémov.
- Nutnosť postupnej náhrady ropy ako paliva na výrobu tepla a elektrickej energie.
- Zníženie energetickej spotreby proti pôvodným prognózam, vzhľadom na zníženie energetickej náročnosti nových technológií, zvýšenie cien energie a zavedení politiky prísneho hospodárenia.
- Rešpektovanie časového činiteľa pri plánovaní riešenia energetických problémov, zotrvačnosti energetického hospodárstva a zabezpečenia realizácie včasných opatrení na prestavbu jeho štruktúry.
- Významnú úlohu prevezmú v energetike jadrové palivá a uhlie ako prvotné zdroje.
- Významnejšie sa začnú využívať alternatívne energetické zdroje (Rapšík, 2004).

3. ENERGETICKÉ ZDROJE

3.1. Klasifikácia energetických zdrojov

Energia ako vlastnosť hmoty a kvantitatívna miera pohybu vyjadruje schopnosť hmotných systémov vykonávať prácu na základné vnútorných zmien. Energia neexistuje oddelene od hmoty a prejavuje sa iba spolu s inými vlastnosťami hmotných systémov.

Podľa toho, na aký hmotný systém sa energia viaže, sa rozlišujú jednotlivé formy alebo druhy energie. Rovnaký druh energie sa môže viazať na viacero nositeľov. Forma energie je daná druhom a nositeľom energie.

Energetické zdroje sú také formy energie, ktoré sa využívajú alebo sa môžu využiť v národnom hospodárstve. Z energetických zdrojov sa získavajú užitočné formy energie premenami podľa zákonov zachovania hmoty a energie. Ľubovoľný druh energie je možné klasifikovať buď ako *kinetickú energiu* (energia pohybujúcich sa materiálnych objektov), alebo ako *potenciálnu energiu* (polohová energie materiálnych objektov vo fyzikálnom poli), prípadne ako zložitú kombináciu kinetickej a potenciálnej energie rôznych druhov (foriem).

Použitím kritérií klasifikácie podľa (Marko, 1988) sa rozoznávajú nasledujúce druhy energie:

- **Jadrová energia** – jadrová alebo atómová energia je energia uvoľnená pri jadrovej reakcii, presnejšie pri premenách atómových jadier ich štiepením alebo termojadrovou syntézou. Prejavuje sa najmä vo forme tepla. V jadrovej elektrárni sa uvoľnené teplo použije na výrobu elektriny (Sica / Jadrová energia, 2020).
- **Chemická energia** – energia systému dvoch alebo viacerých chemicky reagujúcich látok, ktorá sa uvoľňuje ako dôsledok prestavby elektrónových obalov atómov a molekúl.
- **Tepelná energia** – časť energie tepelného pohybu častíc látok, ktorá sa uvoľňuje pri rozdieli teplôt medzi danou látkou a látkami v jej okolí.
- **Gravitačná (gravitačnostaťická) energia** – potenciálna energia telies, alebo častíc, ktorá je priamo úmerná ich hmotnosti. V našich podmienkach má praktický význam energia látok nadobudnutá prekonávaním zemskej príťažlivosti.
- **Mechanická energia** – kinetická energia voľne sa pohybujúcich telies alebo jednotlivých častíc.
- **Elektromagnetická energia** – energia pohybu častíc elektromagnetického poľa.
- **Tlaková energia** – potenciálna energia mechanicke stlačených látok, ktorá sa uvoľňuje pri znížení tlaku najčastejšie vo forme mechanickej energie.

- **Elektrostatická energia** – potenciálna energia vzájomného pôsobenia elektrických nábojov, ktorú elektricky nabitú látku nadobúdajú prekonávaním síl elektrického poľa.
- **Magnetická (magnetostatická) energia** – potenciálna energia interakcie „magnetických nábojov“ alebo energia, ktorú nadobúda teleso pri prekonávaní síl magnetického poľa. Zdrojom magnetického poľa môže byť trvalý magnet alebo elektrický prúd.
- **Elektrická (elektrodynamická) energia** – energia elektrického prúdu (usmerneného pohybu elektrických nábojov) vo všetkých formách.
- **Anihilačná energia** – úplná energia systému látky – antilátka, ktorá sa uvoľňuje pri anihilácii v elektromagnetickej, mezónovej, tepelnej forme a iných druhoch energie.
- **Neutrínostatická energia** – potenciálna energia slabej interakcie „neutrínových nábojov“ alebo energia nahromadená pri prekonávaní síl neutrínového poľa. Vplyvom veľkej schopnosti prenikania neutrín látkami, je zatiaľ prakticky nemožné nahromadiť energiu týmto spôsobom.
- **Neutrínová (neutrínodynamická) energia** – energia pohybu častíc neutrínového poľa (neutrín).
- **Mezónová (mezónodynamická) energia** – energia pohybu kvánt jadrového poľa (mezónov, piónov) pri interakcii nukleónov.
- **Gravitónová (gravitónodynamická) energia** – energia pohybu hypotetických kvánt gravitačného poľa (gravitónov).

Význam druhov energie v hospodárstve je možné posúdiť podľa technicky a ekonomicky dostupných zásob, podľa možnosti ich bezprostredného a hospodárneho využívania vo vzájomných premenách, v prenosoch na väčšie vzdialenosti, v ich akumulácii a podľa možnosti ich hospodárnej a účinnej premeny na potrebné formy v mieste spotreby.

Z uvedených druhov energie zatiaľ nemá praktický význam – anihilačná, neutrínostatická, neutrínová, mezónová a gravitónová energia. Ako prvotné energetické zdroje, t. j. zdroje priamo dostupné v prírode je možné označiť jadrovú, chemickú, tepelnú, gravitačnú, mechanickú, elektromagnetickú a tlakovú energiu.

Umelo, ich ďalšou premenou, sa môžu získať druhotné energetické zdroje – elektrostatickú, magnetickú, elektrickú, jadrovú, chemickú, tepelnú, gravitačnú, mechanickú, elektromagnetickú a tlakovú energiu.

Každý druh energie je spojený s určitým jedným alebo niekoľkými nositeľmi. Osobitosti týchto nositeľov potom majú závažnú úlohu vo využívaní jednotlivých foriem energie ako energetických zdrojov (tabuľka 3.1).

Energetickými zdrojmi alebo zdrojmi energie sa rozumejú také formy energie, ktoré sú alebo môžu byť využité pre potreby ľudstva.

Tabuľka 3.1 Zdroje energie (Marko, 1988).

Druh energie	Príklad foriem a nositeľov energie
Jadrová	Ťažké prvky (urán, tórium, plutónium, ...). Lahké prvky (vodík, lítium, ...). Ostatné rádioaktívne prvky.
Chemická	Rôzne kombinácie chemických palív a oksličovadiel. Fosílna palivá (uhlie, ropa, plyn).
Tepelná	Látky s vyššou teplotou proti okoliu, jadrové a chemické reakcie, fázové premeny (latentné teplo), rozpúšťacie teplo, teplo zemského jadra, adsorpčné teplo, trenie, atď.
Gravitačná	Potenciálna energia vody, potenciálna energia telies ponorených do kvapaliny s väčšou hustotou.
Mechanická	Kinetická energia vody a vzduchu, usporiadaný prúd látkových častíc, pohybujúce sa telesá, zotrvačníky.
Elektromagnetická	Energia slnečného žiarenia, svetelné žiarenie, tepelné žiarenie, kozmické žiarenie, atď.
Tlaková	Stlačené plyny, zmena tvaru pružných telies (pružiny).
Elektrostatická	Nabité kondenzátory, elektricky nabité látky a ich častice.
Magnetická	Permanentné alebo elektrické magnety, supravodivé magnety.
Elektrická	Pohybujúce sa elektróny vo vodičoch, polovodičoch, supravodičoch a vo vákuu.

Kvantitatívnu stránku energetických zdrojov vyjadrujú zásoby, ktoré sa chápu ako energetický ekvivalent, t. j. tú časť zdrojov energie, ktorá je využiteľná pri danom stupni technického rozvoja a ekonomickej výhodnosti.

Podľa toho sa energetické zdroje delia na:

- *Potenciálne.*
- *Predpokladané.*
- *Overené alebo neoverené.*
- *Ekonomicky výhodné alebo nevýhodné.*

Podľa miesta v procese premien pri využívaní jednotlivých foriem energie:

- *Prvotné (primárne) energetické zdroje.*
- *Druhotné (sekundárne) energetické zdroje.*

Prvotné energetické zdroje sa rozdeľujú na nasledujúce formy:

- *Energia slnečného žiarenia* (priame a rozptýlené slnečné žiarenie). Je to elektromagnetická energia, ktorej zdrojom je Slnko.
- *Organické palivá* – ako prvotné zdroje energie, ich tvoria fosílna palivá (uhlie, ropa, zemný plyn, rašelina, olejové bridlice, dechtové piesky) a iné organické palivá (drevo a iná suchá biomasa). Pri spaľovaní sa uvoľňuje chemicky viazaná energia slnečného žiarenia.
- *Vodná energia (voda)* – zahŕňa všetky využiteľné formy kinetickej (pohybovej), tlakovej, potenciálnej (gravitačnej, polohovej) a tepelnej energie vody v riekach, jazerách a moriach. Delí sa na: energiu riek, energiu morských vln, energiu morských prúdov, energiu prílivov a odlivov, energiu teplotných gradientov morí.
- *Veterná energia (vietor)* – zahŕňa formy kinetickej a tlakovej energie pohybujúcej sa vzdušnej hmoty.
- *Jadrové palivá* – tvoria ich prirodzené jadrové štiepne palivá a množivé materiály (urán, tórium). Ich zdrojom sú nerastné ložiská uránových a thóriových rúd.
- *Geotermálna energia (teplo zemského jadra)* – v zemskej kôre je nositeľom geotermálnej energie najmä magma, horúce horniny, vodná para a voda.

V postupnosti premien prvotných zdrojov energie znamená každá premena prvotného zdroja zdroj druhotný. Napríklad spaľovaním uhlia v kotloch vzniká z prvotného zdroja energie (uhlia) druhotný zdroj (teplo), ktoré sa už ako druhotný zdroj využíva ďalej.

Klasifikácia energetických zdrojov podľa obnoviteľnosti:

- *Neobnoviteľné energetické zdroje* – sú také, ktoré sa ich využívaním postupne vyčerpávajú až do hranice technicko-ekonomickej a ekologickej únosnosti (fosílna palivá, jadrové palivá).
- *Obnoviteľné energetické zdroje* – sú také, ktoré sa pri ich využívaní neustále obnovujú a sú relatívne bez zmeny neustále k dispozícii (slnečná energia, vietor, energia vody, geotermálna energia).

Klasifikácia energetických zdrojov podľa miesta využívania:

- *Viazané na miesto využitia* – nemožno ich dopravovať na iné miesto. Patrí sem slnečná energia, vodná energia, veterná energia, geotermálna energia.
- *Neviazané na miesto využívania* – sú to všetky dopravyschopné prvotné energetické zdroje, napríklad fosílna palivá, jadrové palivá.

Klasifikácia energetických zdrojov podľa rozsahu využívania v národnom hospodárstve:

- *Tradičné (konvenčné) energetické zdroje* – v praxi bežne používané energetické zdroje (fosílna palivá, jadrové palivá, vodná energia).
- *Netradičné (nekonvenčné) energetické zdroje* – v praxi ešte nie sú dostatočne využité a technológia ich využitia sa vyvíja a overuje (geotermálna energia, slnečná energia, veterná energia, energia kozmického žiarenia) (Marko, 1988; Rapšík, 2004).

4. NEOBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Väčšia časť elektrickej energie vyrábanej v súčasnosti má svoj pôvod vo fosílnych, prípadne v jadrových palivách. Tieto palivá sa nachádzajú pod zemským povrchom a ich zásoby sú konečné, keďže nie je možné zväčšovať množstvo týchto palív (Rapšík, 2004). Prírodné palivá sú v súčasnosti ešte stále základom energetiky väčšiny krajín sveta. K prírodným palivám sa zaraďujú konvenčné (tradičné) a nekonvenčné (netradičné) zdroje energie.

Konvenčné (tradičné) neobnoviteľné zdroje energie sa delia na:

- Uhlie.
- Ropu.
- Zemný plyn.

Nekonvenčné (netradičné) neobnoviteľné zdroje energie sa delia na:

- Olejové bridlice.
- Dechtové piesky.
- Jadrové palivá.

4.1. Fosílna palivá

Fosílna palivá sú nerastné suroviny, ktoré vznikli premenou odumretých zvyškov rastlín a tel živočíchov bez prístupu vzduchu a považujú sa za vyčerpatelný neobnoviteľný zdroj energie.

V súčasnosti sa fosílna palivá využívajú najmä na výrobu tepla, elektriny a na pohon motorových dopravných prostriedkov. Ich veľkou výhodou je, že premena na využiteľnú formu energie je lacná a jednoduchá. Rýchlo sa však mŕňajú a pri ich spaľovaní sa do ovzdušia uvoľňujú znečisťujúce látky a skleníkové plyny (Siea / Energia z fosílnych palív, 2020).

- **Uhlie** – je prírodná pevná horľavina organického pôvodu. Uhlie je zložitá zmes tuhých látok, ktorých obsah závisí od veku a pôvodu uhlia. Obsahuje látky s vysokou relatívnou molekulovou hmotnosťou. Okrem uhlíka (70 až 90 %) obsahuje aj ďalšie prvky, ako je vodík, kyslík, dusík, síru a anorganické soli. Dôkazom prítomnosti minerálnych látok v uhlí je popol, ktorý vzniká po spálení uhlia. Okrem paliva sa uhlie využíva aj ako surovina v chemickom priemysle. Existuje niekoľko druhov uhlia, ale zásadne sa rozoznáva hnedé uhlie, čierne uhlie a antracit.
- **Ropa** – je charakterizovaná ako hnedočierna olejovitá fosílna kvapalina ľahšia ako voda s charakteristickým zápachom. Najväčšie náleziská ropy sú na blízkom východe – až 1/3 celosvetových zásob. Zvyšok zásob sa nachádza na Sahare, v okolí Guinejského zálivu, v Indonézii, Rusku, Číne, vo Venezuele a v Amerike (Kekule, 2021).

- **Zemný plyn** – je fosílna surovina a jej hlavnou zložkou je metán. Zemný plyn, rovnako ako ostatné fosílné palivá, sa nachádza v podzemných náleziskách. Slovensko nemá vlastné veľké zásoby zemného plynu, a preto väčšinu z neho sa dováža z nálezísk vzdialených viac ako 4 000 kilometrov. Ložiská zemného plynu sú rozložené nerovnomerne a medzi jeho najväčších producentov patria Amerika, Kanada a Rusko, odkiaľ pochádza väčšina plynu spotrebovaná na Slovensku (Spp, 2022).

Netradičné palivá

- **Olejové bridlice** – sú to sedimentárne horniny, ktoré obsahujú uhl'ovodíky, z ktorých sa pri suchej destilácii získava olej. Rozvoj priemyslu spracovávajúceho olejové bridlice v priemyselnom meradle závisí od kvality bridlice, technológie jej konverzie na palivo, schopnosti prekonať inštitucionálne a ekologické problémy a od ekonomických podnetov. Vo všeobecnosti sa považuje za kvalitnú taká olejová bridlica, ktorá obsahuje viac ako 100 litrov oleja na tonu suroviny. Značné zásoby sú v Amerike, Kanade, Rusku a v Číne.
- **Dechtové piesky** – sú to piesky obsahujúce vysoko viskózne uhl'ovodíkový materiál, ktorý sa nedá získať klasickou ťažbou vrtnými vežami. Obrovské ložiská dechtových pieskov sú vo Venezuele a v Kanade (Marko, 1988; Sizo, 2021).

4.2. Jadrové palivá

Jadrové palivá sú látky obsahujúce také nuklidy, ktoré v jadrových reakciách uvoľňujú energeticky využiteľné množstvo energie.

Jadrové palivo, ktoré obsahuje iba prírodné nuklidy sa nazývajú prvotné. Ak jadrové palivo obsahuje nuklidy získané umelým spôsobom – v jadrových reaktoroch nazývajú sa druhotné.

Podľa typu jadrových reakcií sa jadrové energetické materiály delia na:

- Termojadrové palivá.
 - Jadrové štiepne palivá.
 - Množivé materiály.
- **Termojadrové palivá** – obsahujú nuklidy, ktoré uvoľňujú energiu vo vzájomných termojadrových reakciách. Sú to izotopy ľahkých prvkov, ktorých jadrá sa zlučujú pri umelom pôsobení extrémne vysokých teplôt a tlakov, pričom vznikajú nové, ťažšie nuklidy a uvoľňuje sa pritom energia. Túto skupinu tvoria vodík a jeho izotopy ^1H , ^2H (^2D – deutérium), ^3H (^3T – trícium), hélium ^3He a lítium ^6Li , ^7Li (ako plodivý materiál na výrobu ^3T).

- **Jadrové štiepne palivá** – obsahujú nuklidy ťažkých prvkov, ktoré uvoľňujú energiu v štiepných jadrových reakciách a to pôsobením neutrónov. Sú to: izotop uránu ^{235}U , ktorý sa nachádza v prírodnom uráne, umelo v jadrových reakciách vyrobené izotópy plutónia ^{239}Pu , ^{241}Pu , (z izotopu ^{238}U) a ďalší umelý izotop uránu ^{233}U , ktorý vzniká interakciou neutrónu s nuklidmi ^{232}Th .
- **Množivé materiály** – sú izotópy prvkov, ktoré sa v jadrových reakciách premieňajú na štiepne materiály (^{238}U , ^{232}Th , ^{234}Th , ^{240}Pu), (Sizo, 2021; Marko, 1988; Čarnogurská, 2001).

4.2.1. Jadrová energia

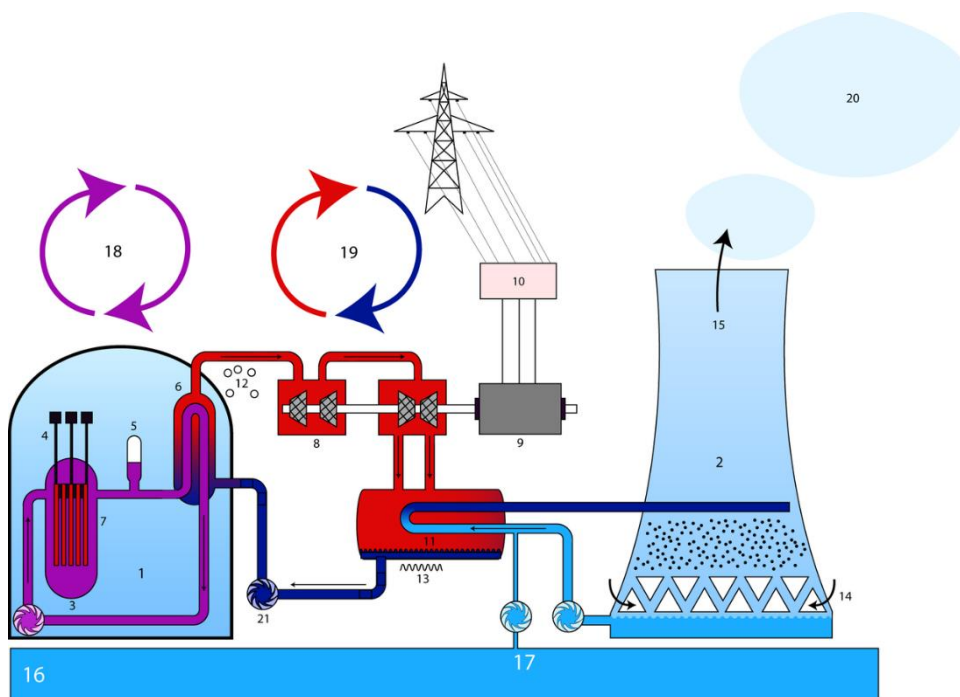
Jadrová energia sa uvoľňuje pri jadrových reakciách, kde dochádza k premene atómových jadier pôsobením elementárnych častíc alebo iných jadier, pričom v praxi sa využívajú najmä štiepne jadrové reakcie. Najčastejším jadrovým palivom je izotop uránu ^{235}U , ktorý sa nachádza v prírodnom uráne. V porovnaní s fosílnymi palivami majú jadrové štiepne palivá vysoký energetický obsah. Napríklad 1 kg jadrového paliva – uránu, je energeticky ekvivalentný 3 miliónom kg uhlia. Na výrobu rovnakého množstva energie je potrebné oveľa menší objem a hmotnosť jadrového paliva, čo má pozitívne dôsledky na dopravu, ekonomiku výroby energie a na životné prostredie. Najväčšou výhodou z hľadiska vplyvu na životné prostredie je ale fakt, že jadrové elektrárne neprodujú emisie skleníkových plynov a produktov spaľovania. Čo sa týka odpadového tepla, sú jadrové a tepelné elektrárne porovnateľné. Pri prevádzke jadrovej elektrárne ale vznikajú plynné, kvapalné a tuhé rádioaktívne odpady. S výnimkou vyhorelého paliva ide o odpady s nízkym alebo stredným zvyškovým rádioaktívnym žiarením. Technika spracovania plynných a kvapalných odpadov je v súčasnosti na takej úrovni, že dávka žiarenia prechádzajúca na obyvateľstvo je hlboko pod normou odporúčanou medzinárodnou komisiou pre rádiologickú ochranu a samotná normálna prevádzka nepredstavuje žiadne mimoriadne riziko pre zdravie obyvateľstva. Najväčší podiel na rádioaktívnom znečisťovaní životného prostredia mali doteraz závody na prepracovanie paliva. Preto do hodnotenia vplyvu jadrovej energetiky na zdravie človeka je potrebné zahrnúť celý palivový cyklus od dobývania a úpravy uránovej rudy, až po uloženie rádioaktívneho odpadu. Najväčším problémom z hľadiska ochrany životného prostredia je trvalé uloženie tuhých rádioaktívnych odpadov (Šenitková, 2002).

4.2.2. Jadrové elektrárne

Jadrové elektrárne sa líšia od klasických tepelných elektrární len v spôsobe prvej premeny energie z jadrovej na tepelnú, pre ktorú miesto kotla využívajú jadrový reaktor, v ktorom prebieha štiepenie atómov niektorých ťažkých prvkov (urán, plutónium) za súčasného uvoľňovania veľkého množstva tepla. Ďalšie premeny sú zhodné s tepelnými elektrárnami na fosílna palivá (Elektrárne, 2021).

Princíp výroby elektriny v jadrovej elektrárni je podobný ako v klasickej tepelnej elektrárni. Rozdiel je len v zdroji tepla. V tepelnej elektrárni je zdrojom tepla fosílna palivo (uhlie, plyn), zatiaľ čo v jadrovej elektrárni je to jadrové palivo (prírodný alebo obohatený urán).

Palivo v podobe palivových kaziet je umiestnené v tlakovej nádobe reaktora, do ktorej prúdi chemicky upravená voda. Táto preteká kanálíkmi v palivových kazetách a odvádza teplo, ktoré vzniká pri štiepnej reakcii. Voda z reaktora vystupuje s teplotou približne 297 °C a prechádza horúcou vetvou primárneho potrubia do tepelného výmenníka (parogenerátora). V parogenerátore preteká zväzkom rúrok a odovzdáva teplo vode, ktorá je privádzaná zo sekundárneho okruhu s teplotou 222 °C. Ochladená voda primárneho okruhu sa vracia späť do aktívnej zóny reaktora. Voda sekundárneho okruhu sa v parogenerátore odparuje a cez parný kolektor sa para odvádza na lopatky turbíny. Hriadeľ turbíny roztáča generátor, ktorý vyrába elektrickú energiu. Po odovzdaní energie turbíne para kondenzuje v kondenzátore a vo vodnom skupenstve cez ohrievače prúdi späť do parogenerátora. Zmes v kondenzátore je chladená tretím chladiacim okruhom. V tomto okruhu sa voda ochladzuje vzduchom prúdiacim zo spodnej do hornej časti chladiacej veže tzv. komínovým efektom. Prúd vzduchu so sebou unáša vodnú paru a drobné kvapky vody, a tak sa nad chladiacimi vežami vytvárajú oblaky pary (Slovenské elektrárne, 2022). Na obr. 4.1 je znázornená jadrová elektrárň s tlakovodným reaktorom a na obr. 4.2 je znázornená jadrová elektrárň Temelín.



Obr. 4.1 Schéma jadrovej elektrárne s tlakovodným reaktorom

(1-kontajment; 2-chladiaca veža; 3-tlakovodný reaktor; 4-regulačné tyče; 5-kompenzátor objemu; 6-parogenerátor (v ňom horúca voda pod vysokým tlakom vyrába paru v sekundárnom okruhu); 7-aktívna zóna; 8-turbína – vysokotlakový a nízkotlakový stupeň; 9-elektrický generátor; 10-transformátor; 11-kondenzátor sekundárneho okruhu; 12-para; 13-kondenzát; 14-prívod vzduchu do chladiacej veže; 15-odvod teplého vzduchu a pary komínovým efektom; 16-zdroj chladiacej vody (rieka, nádrž); 17-chladiaci okruh; 18-primárny okruh (voda iba kvapalná pod vysokým tlakom); 19-sekundárny okruh (červeno označená para, modro voda); 20-vodná para; 21-cirkulačné čerpadlo) (Elektrická energia, 2021).



Obr. 4.2 Jadrová elektrárň Temelín
(Jadrová energetická spoločnosť Slovenska, a.s., 2011).

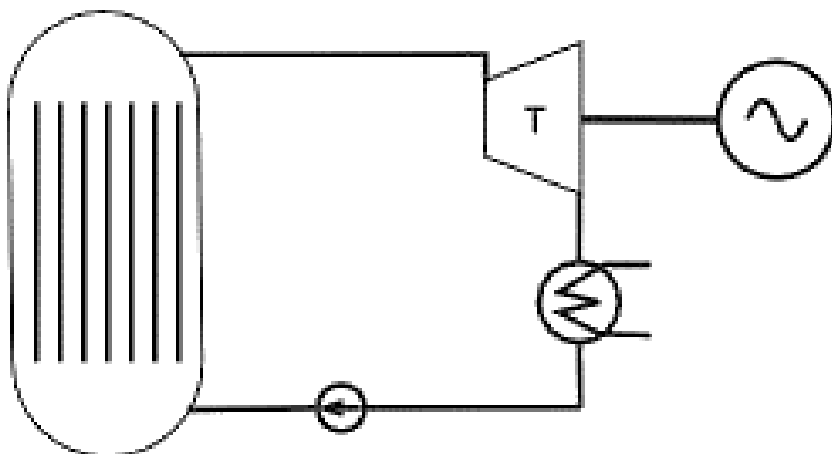
Tepelná energia v jadrových elektrárňach môže vznikáť:

- Štiepnou reakciou, t. j. štiepením atómov ťažkých prvkov (urán, plutónium).
- Termonukleárnou reakciou, t. j. syntézou ľahkých prvkov pri veľmi vysokej teplote.

Podľa druhu jadrového reaktora, ako aj spôsobu odvádzania tepla z jadrového reaktora a jeho využitia na výrobu pary sa jadrové elektrárne delia na:

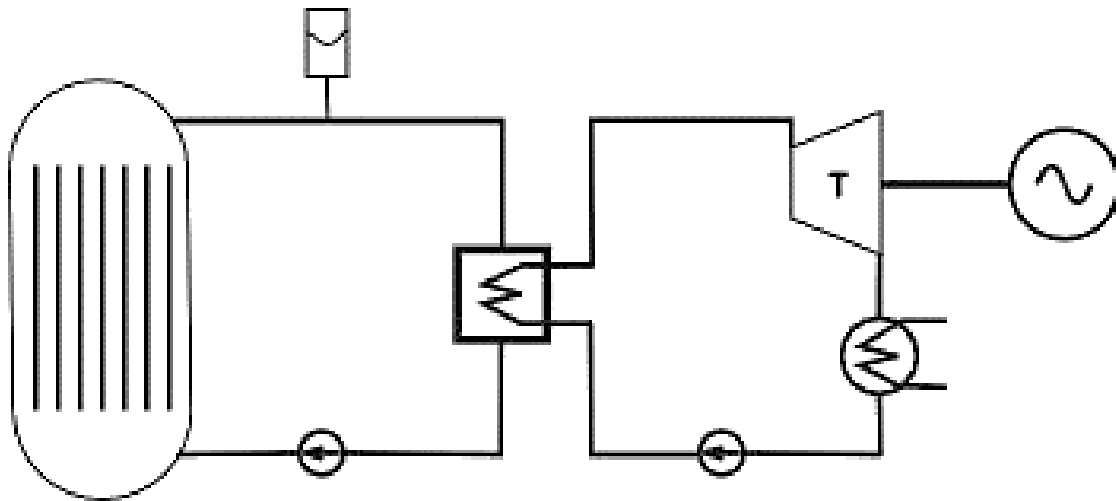
- *Jednookruhové* (vybavené varným alebo plynom chladeným reaktorom).
- *Dvojokruhové* (ľahkovodné a ťažkovodné reaktory chladené vodou pod tlakom bez zmeny jej kvapalného skupenstva).
- *Trojokruhové* (chladené skvapalneným kovom).

Jednookruhové, majú varný reaktor a rádioaktivita je v celej strojovni, para vyrobená v jadrovom reaktore sa privádza priamo do turbíny, (obr. 4.3).



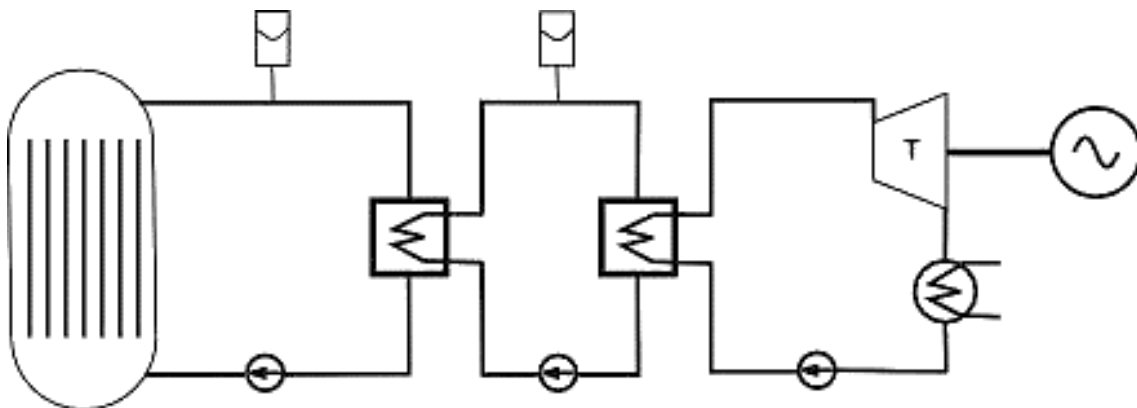
Obr. 4.3 Jednookruhová jadrová elektrárň (Elektrárne, 2021).

Dvojokruhové, u ktorých je rádioaktívny len primárny okruh. Teplo z reaktora sa odvádza teplonosnou látkou (chladivom) primárnym okruhom do výmenníka tepla (parného generátora), kde vzniká para, ktorá sa sekundárnym okruhom privádza do turbíny, (obr. 4.4).



Obr. 4.4 Dvojokruhová jadrová elektrárň (Elektrárne, 2021).

Trojokruhové, využívajú sa najmä pre tzv. „množivé reaktory“, ktoré si sami vyrábajú (množia) palivo. Medzi primárny okruh chladenia reaktora tekutým kovom (sodík) a konečným terciárnym parným okruhom (voda) je vložený ešte ďalší – sekundárny olejový sprostredkujúci okruh, ktorý zabraňuje možnej nebezpečnej reakcii kovového sodíka s vodou. Rádioaktívny je len primárny okruh, (obr. 4.5).



Obr. 4.5 Trojokruhová jadrová elektrárň (Elektrárne, 2021).

4.2.3. Bezpečnosť jadrových elektrární

Z hľadiska bezpečnosti jadrovej elektrárne / jadrová bezpečnosť / je dôležitý výber miesta výstavby, projektová príprava, výstavba, výroba a montáž jednotlivých zariadení i samotná prevádzka. Zvlášť dôležité je konštrukčné a technologické vyriešenie aktívnej zóny jadrového reaktora, pričom kritériá a požiadavky na konštrukcie, systémy a uzly sú definované ako požiadavky štátnych dozorných orgánov. Výroba zariadení a prevádzka

jadrovej elektrárne musí byť zabezpečená s dostatočnými rezervami s dôrazom na kvalitu, zálohovanie a možnosť testovania systémov.

V každej jadrovej elektrárni je vybudovaná sústava bariér (ochrana do hĺbky) zabraňujúcich úniku rádioaktívnych častíc do najbližšieho okolia vnútri reaktora i do okolia jadrovej elektrárne: chemicky stabilná forma jadrového paliva, celistvosť obalu palivových prútikov, celistvosť primárneho okruhu jadrovej elektrárne (materiál a konštrukcia tlakovej nádoby reaktora, ktorá je súčasťou hermeticky uzavretého tlakového systému primárneho okruhu), celistvosť hermeticky uzavretého ocel'ovo-betónového obalu jadrového reaktora (kontajnement, konfajnement) zabraňujúceho úniku rádioaktívnych častíc pri prípadnom porušení prvých troch bariér (najmä pri jadrových reaktoroch chladených vodou). Sústava bariér je doplnená bezpečnostnými systémami jadrovej elektrárne, ktorých úlohou je bezpečne odstaviť jadrový reaktor (zastaviť reťazovú štiepnu reakciu), bezpečne odvieť zvyškové teplo z aktívnej zóny reaktora a zabezpečiť neporušenie primárneho okruhu pri maximálnej možnej ochrane bezpečnostných bariér, a to aj v prípade jadrovej udalosti maximálneho rozsahu.

Rozlišujú sa aktívne (napájané zo zdroja elektrickej energie) a pasívne (nevyžadujúce zdroj elektrickej energie) bezpečnostné systémy. K aktívnym bezpečnostným systémom ľahkovodných reaktorov patria vysokotlakový a nízkotlakový havarijný systém chladenia aktívnej zóny jadrového reaktora pozostávajúce z nádrží s roztokom kyseliny boritej a z čerpadiel (zabezpečujú potrebný tlak chladiaceho média v primárnom okruhu, a tým aj odvod tepla z primárneho okruhu v prípade mimoriadnej udalosti) a sprchový systém (znižuje tlak v priestoroch kontajnementu pri jeho zvýšení v dôsledku jadrovej udalosti), k pasívnym bezpečnostným systémom patrí napríklad mechanické ovládanie spúšťania havarijných tyčí reaktora (automatické regulačné kompenzačné kazety) do aktívnej zóny reaktora, hydroakumulátory (dodávajú roztok kyseliny boritej do jadrového reaktora, ak sa zníži tlak chladiaceho média v primárnom okruhu pod hodnotu, na ktorej je roztok kyseliny v hydroakumulátoroch udržiavaný, čím sa odvedie teplo a zastaví sa reťazová štiepna reakcia; bór je účinný pohlcovač neutrónov) a vákuovo-barbotážny systém (na zníženie tlaku v tlakovom systéme primárneho okruhu pod hodnotu atmosférického tlaku a na odstránenie neskondenzovaných zložiek chladiwa pri porušení primárneho okruhu).

Ochranu zdravia pracovníkov jadrovej elektrárne zabezpečuje systém biologickej ochrany, ktorý predstavuje kombináciu dostatočnej vzdialenosti od zdroja žiarenia a aplikácie materiálov zabezpečujúcich absorpciu neutrónov, fotónov gama, röntgenového žiarenia, ako aj fotónov gama vznikajúcich sekundárne pri záchyte neutrónov. Na tienenie sa podľa okolností bežne používajú olovo, oceľ a ťažký (barytový) betón.

Prevádzka a kontrola jadrového reaktora je počítačovo riadená z dozorne elektrárne. V záujme vysokej bezpečnosti prevádzky jadrovej elektrárne sa v aktívnej zóne reaktora vykonáva nepretržité meranie toku neutrónov i teploty, ako aj meranie teploty a tlaku v chladiacom systéme a kontroluje sa elektrický systém. Údaje sa automaticky vyhodnocujú a porovnávajú s predpísanými hodnotami a výkon jadrového reaktora sa pomocou regulačných kaziet udržiava na predpísanej úrovni. Pri nastavených hodnotách odchýlok od predpísaných hodnôt sa zasunutím havarijných tyčí aktivuje havarijný systém reaktora

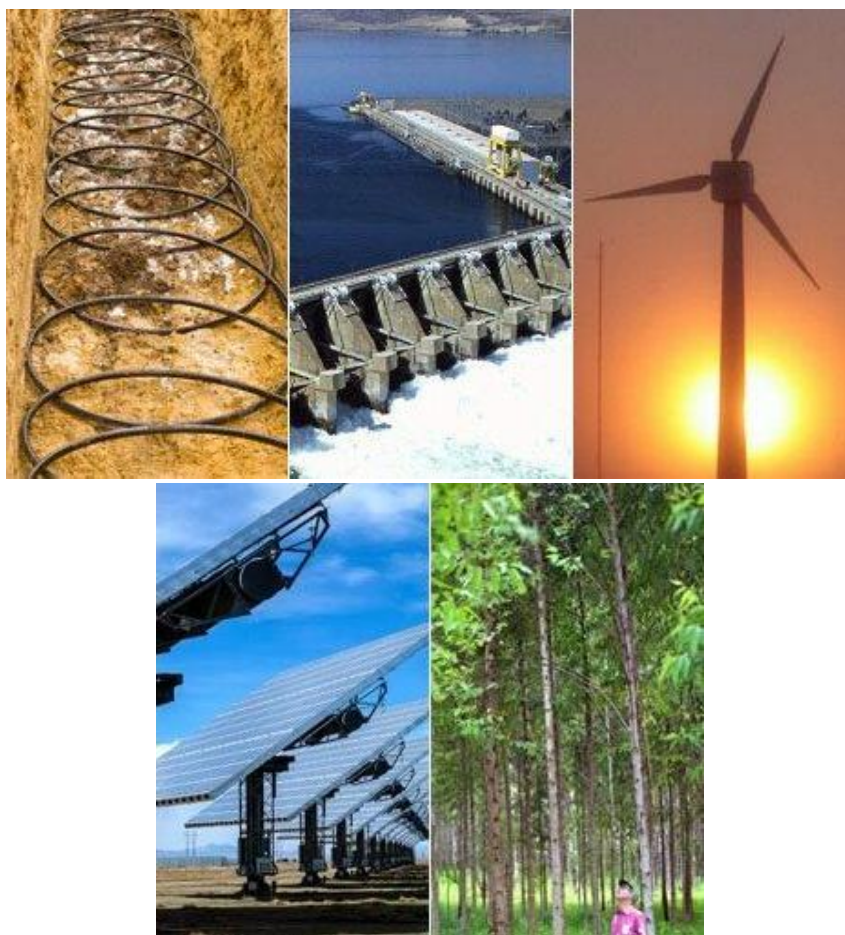
(havarijné odstavenie reaktora). Jadrová elektrárňa je vybavená záložnými zdrojmi elektrickej energie nezávislými od elektrickej rozvodnej siete, neustále sa v nej vykonávajú dozimetrické kontroly.

Cieľom celého systému jadrovej bezpečnosti jadrovej elektrárne je pri prípadnej mimoriadnej udalosti ochrániť jej pracovníkov pred priamym zásahom rádioaktívnym žiarením, zabrániť úniku rádioaktívneho žiarenia do okolia, a tým ohrozeniu obyvateľstva i životného prostredia (Jadrová elektrárňa, 2022).

5. OBNOVITEĽNÉ ZDROJE ENERGIE

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie (OZE) sa stáva čoraz naliehavejšie tak z hľadiska očakávania dostupnosti a ceny primárnych energetických zdrojov (PEZ), ako aj z hľadiska dopadov na okolité životné prostredie.

Za obnoviteľné sa považujú zdroje, ktoré sú schopné kontinuálne doplňať svoj energetický potenciál. Väčšina z nich je premenenou slnečnou energiou, ako veterná a vodná energia a energia biomasy. Ďalším zdrojom je priamo slnečná energia a od slnečnej energie nezávislá geotermálna energia (obr. 5.1) (Rapšík, 2004).



Obr. 5.1 Obnoviteľné zdroje energie (Aseanenergy, 2022).

5.1. Charakteristika jednotlivých druhov obnoviteľných zdrojov energie

Veterná energia – veterná energia sa dnes využíva hlavne na výrobu elektrickej energie, aj keď existujú aj iné spôsoby jej využitia, napríklad na čerpanie vody. Pri využívaní energie vetra nedochádza k produkovaniu emisií znečisťujúcich látok a z hľadiska účinkov na životné prostredie je najvýraznejším negatívnym faktorom zmena estetického rázu krajiny a hluk vznikajúci v prevodovej skrini, generátore alebo spôsobený obtekaním listu vrtule vzduchom. Istým rizikom je aj možnosť havárie veterného generátora. Nevýhodou využívania tohto druhu obnoviteľného zdroja energie je veľká premenlivosť v závislosti od času a zemepisného miesta, zvyčajne malá koncentrácia veternej energie, ako aj vysoké investičné náklady.

Vodná energia – energia obsiahnutá vo vode je využiteľná v rôznych formách. Najčastejšie sa využíva premena kinetickej a potenciálnej energie vodných tokov, ale známe sú aj technológie výroby elektrickej energie založené na využití morského prílivu, morských vln a teplotného rozdielu vody v oceánoch. Pri výrobe elektrickej energie vo vodných elektrárnach je z hľadiska vplyvu na životné prostredie výhodou, že nedochádza k emisiám škodlivín do ovzdušia, voda je obnoviteľný energetický zdroj a výroba energie je možná v čase potreby, teda na okamžité pokrytie spotreby. Vodná energia je najžiadanejším zdrojom spomedzi všetkých obnoviteľných zdrojov. Nevýhodou jej využívania sú vysoké investičné náklady na výstavbu vodných elektrární a negatívne dopady na okolité životné prostredie, hlavne v prípade veľkých vodných diel. Za najpodstatnejšie negatívne environmentálne vplyvy je možné považovať zmeny krajiny, narušenie hydrologických režimov, zmenu hladiny podzemných vôd, zmenu pobrežia a rastlinstva a zmeny životných podmienok vodných organizmov.

Energia biomasy – biomasa je substancia biologického pôvodu, v ktorej je chemicky zakonzervovaná slnečná energia a je to jeden z najuniverzálnejších zdrojov energie na Zemi. Využíva sa na výrobu tepla, elektrickej energie a na pohon motorových vozidiel. Pri spaľovaní biomasy vzniká oxid uhličitý, ale do ovzdušia sa uvoľní len také množstvo CO₂ aké bolo do rastlín akumulované fotosyntézou v období ich rastu. Spaľovaním biomasy vznikajú menšie negatívne dopady na životné prostredie ako pri použití klasických fosílnych palív, je všeobecne dostupnejšia ako fosílna palivá a je z nej možné získať tuhé, kvapalné aj plynné palivá v závislosti od použitého technologického procesu. Nevýhodou používania biomasy je jej nižšia ekonomická konkurencieschopnosť v porovnaní s klasickými energetickými zdrojmi, ako aj potreba rozšírenia produkčných plôch.

Slnečná energia – solárna alebo slnečná energia je ekologicky najčistejší zdroj energie, ktorý neznečisťuje vzduch ani vodu, neprodukuje do atmosféry žiadne škodliviny a neohrozuje život na Zemi. Z hľadiska odpadového tepla sa solárne energetické zariadenia prejavujú viac menej neutrálne. Veľkou výhodou je, že slnečná energia je zadarmo, nemusí sa dobývať zo Zeme ani dovážať. Za hlavnú nevýhodu sú z ekologického hľadiska považované veľké územné požiadavky, pretože slnečná energia je príliš zriedená a potrebuje väčšiu plochu ako napríklad tepelná alebo jadrová elektráreň. Ďalším nedostatkom získavania energie z tohoto zdroja je, že solárne zariadenia pracujú len vtedy, keď vonku svieti slnko, slnečnú energiu je problematické akumulovať a účinnosť premeny slnečného žiarenia na iné formy energie je malá. Z ekonomického hľadiska je kWh získaná zo slnečného žiarenia drahšia ako z ostatných zdrojov, pričom znižovanie ceny takto získanej energie súvisí s technickým pokrokom.

Geotermálna energia – geotermálna energia je teplo, ktoré sa vyvíja a akumuluje prírodnými procesmi v hĺbkach Zeme a prenáša sa do vodonosných vrstiev prostredníctvom horúcich hornín alebo magmy. Podstatou geotermálnej energie je prirodzené teplo zemského jadra a chemické procesy prebiehajúce v jadre a v plášti. Využívanie geotermálnych zdrojov predstavuje lacnejší zdroj energie ako klasické fosílna energetické zdroje, je to domáci zdroj, nezávislý od medzinárodných konfliktov a má minimálne dopady na životné prostredie. Pri využívaní geotermálnej energie sa do ovzdušia dostávajú plynné znečisťujúce látky,

ako sú sulfán, amoniak a oxid uhličitý. Kvapalné odpady môžu v závislosti od chemického zloženia geotermálneho poľa takisto obsahovať celú radu zlúčenín v rôznych koncentráciách (Šenitková, 2002; Fiala, 1994; Apalovič, 1998; Gašparovský, 1999).

Elektrickú energiu je možné vyrábať z neobnoviteľných zdrojov, medzi ktoré patria fosílna palivá (uhlie, ropa, zemný plyn), z neobnoviteľného odpadu a jadrových materiálov v tradičných reaktoroch alebo z obnoviteľných zdrojov (vodná, veterná a slnečná energia, biomasa, bioplyn, biokvapaliny, odpad, geotermálna energia, energia vln, prílivu a oceánska energia). Okrem elektriny sa z obnoviteľných zdrojov vyrába aj energia, ktorá sa využíva na vykurovanie a chladenie, a palivá pre potreby dopravy. Tabuľka 5.1 obsahuje hlavné technológie výroby energie z obnoviteľných zdrojov a ich využitie.

Tabuľka 5.1 Hlavné technológie výroby energie z obnoviteľných zdrojov a ich využitie pri výrobe elektriny, vykurovaní, chladení a v dopravnom odvetví (EDA, na základe príručky k nástroju SHARES, Eurostat, 2018, <https://op.europa.eu/>).

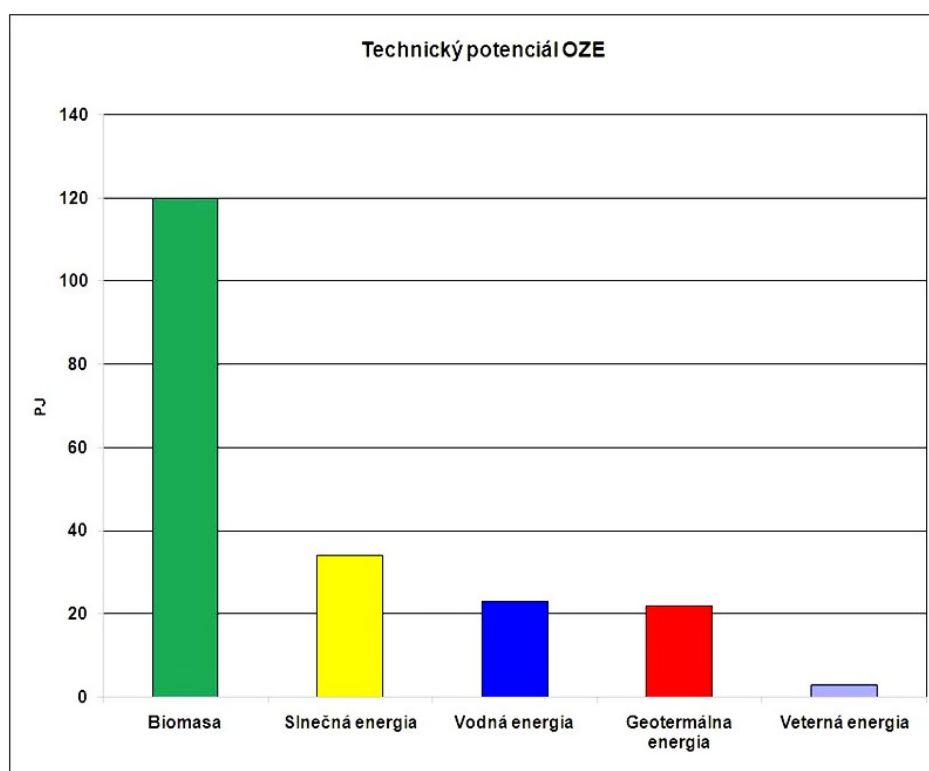
Technológia	Premena energie	Využitie
Vodná energia	Premena energie vodných tokov a vodopádov na elektrickú energiu	Elektrická energia
Veterné turbíny	Premena veternej energie na elektrinu	
Slnečná energia	Premena slnečného svetla na elektrickú energiu	
Biomasa / bioplyn / biokvapaliny	Premena biomasy / bioplynu / biokvapalín na elektrickú energiu	
Spaľovanie odpadu	Premena odpadu na elektrickú energiu	
Energia vln, prílivu a oceánska energia	Premena energie vln a prílivu na elektrickú energiu	
Geotermálna energia	Premena teplotných rozdielov na elektrickú energiu	
Slnečná tepelná	Využívanie slnečného svetla na vykurovanie a chladenie	Vykurovanie a chladenie
Biopalivá / bioplyn	Premena biomasy na kvapalné palivo alebo plyn	
Spaľovanie odpadu	Využívanie odpadu na vykurovanie a chladenie	
Geotermálna energia	Využívanie teplotných rozdielov na vykurovanie a chladenie	

Pokračovanie tabuľky 5.1 Hlavné technológie výroby energie z obnoviteľných zdrojov a ich využitie pri výrobe elektriny, vykurovaní, chladení a v dopravnom odvetví (EDA, na základe príručky k nástroju SHARES, Eurostat, 2018, <https://op.europa.eu/>).

Technológia	Premena energie	Využitie
Biopalivá / bioplyn	Premena biomasy na kvapalné palivo alebo plyn	Doprava

5.2. Potenciál využívania obnoviteľných zdrojov energie

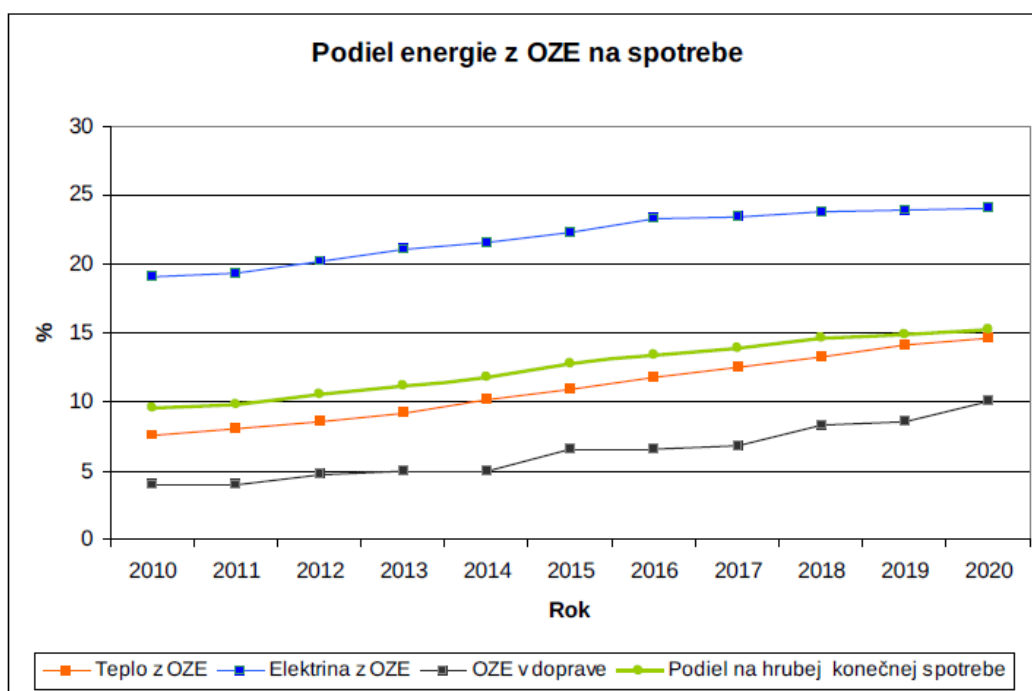
Zvyšovanie podielu obnoviteľných zdrojov energie (OZE) na výrobe elektriny a tepla s cieľom vytvoriť primerané doplnkové zdroje potrebné na krytie domáceho dopytu je aj jednou zo základných priorít Energetickej politiky SR. Rast cien fosílnych neobnoviteľných palív v posledných rokoch posúva túto energetickú alternatívu do centra ekonomickej a politickej pozornosti. Medzi obnoviteľné zdroje energie (obr. 5.2), ktoré je možné v súčasnosti technologicky využiť na výrobu elektriny, tepla a dopravných palív, sa zaraďuje biomasa vrátane biopalív a bioplynu, slnečná, vodná, geotermálna a veterná energia.



Obr. 5.2 Technický potenciál OZE (Jandačka, 2011).

Využívanie obnoviteľných zdrojov energie ako domácich energetických zdrojov zvyšuje bezpečnosť a diverzifikáciu dodávok energie a súčasne znižuje závislosť ekonomiky od nestabilných cien ropy a zemného plynu. Ich využívanie je založené na vyspelých a environmentálne šetrných technológiách, výrazne prispieva k znižovaniu emisií skleníkových plynov a škodlivín (Jandačka, 2011).

Smerovanie SR pri využívaní obnoviteľných zdrojov energie je vyjadrené v Stratégii energetickej bezpečnosti SR, ktorá bola schválená v roku 2008 a ktorá uvádza, že najväčšiu perspektívu do roku 2020 majú OZE pre výrobu tepla a chladu (obr. 5.3).



Obr. 5.3 Podiel energie z OZE v sektore tepla, elektriny, doprave a na celkovej hrubej konečnej spotrebe (Národný akčný plán pre obnoviteľné zdroje energie, 2010).

5.2.1. Obnoviteľné zdroje energie pre výrobu elektriny

Pre SR je indikatívny cieľ stanovený na 31 %, avšak reálne je možné dosiahnuť 19 %. Pre dosiahnutie tohto cieľa bolo potrebné prijať v roku 2007 legislatívne zmeny v prospech zvýšenia stability podnikateľského prostredia.

Výroba elektriny je z dôvodu veľkých výkyvov výroby elektriny vo veľkých vodných elektrárňach v jednotlivých rokoch rozdelená na dve časti:

1. Výroba elektriny z OZE bez veľkých vodných elektrární (tabuľka 5.2).
2. Výroba elektriny vo veľkých vodných elektrárňach a akumulácia elektriny (tabuľka 5.3).

Ciele v rokoch 2010 a 2015 sú prevzaté zo Stratégie vyššieho využitia OZE v SR. Po roku 2015 je predpoklad nárastu výroby elektriny zo slnečnej energie.

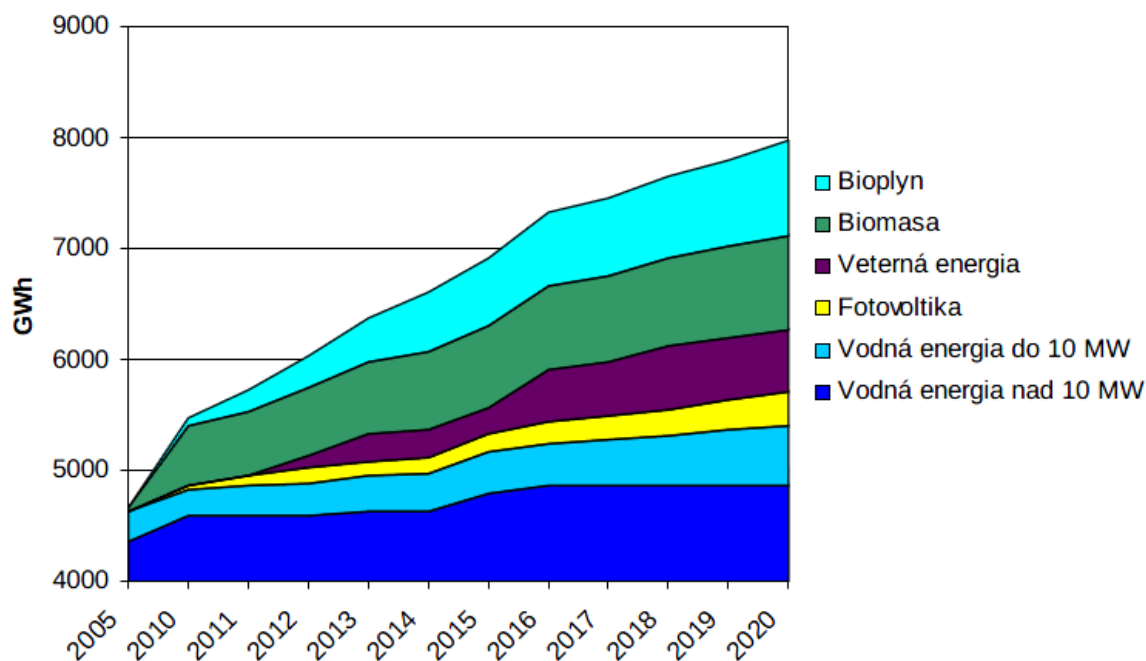
Tabuľka 5.2 Odhad výroby elektriny z OZE bez veľkých vodných elektrární do roku 2030 (Jandačka, 2011).

Rok	2005	2010	2015	2020	2030
Výroba elektriny z OZE [TWh]	0,3	1,2	2,3	3,1	4,4
Podiel na spotrebe elektriny [%]	1	4	7	9	11

Tabuľka 5.3 Navrhovaný harmonogram výstavby veľkých vodných elektrární a ich výroba (Jandačka, 2011).

Rok	2005	2008	2010	2013	2015	2020
Výstavba veľkých vodných elektrární a prečerpávacích vodných elektrární	-	-	VE Sereď			-
	-	-	VE Čunovo			-
	-	-	VE medzi VE Žilina a Lipovec			-
	-	-	Zväčšenie PVE Čierny Váh			-
	-	-	-	PVE Ipeľ		
	-	-	-	VD Wolfsthal – Bratislava		
Výroba elektriny [TWh]	4,6	4,6	4,6	4,6	5,0	5,4
Podiel na spotrebe elektriny [%]	15,3	15,2	15,0	15,0	15,2	15,6

Predpokladaný vývoj výroby elektriny z OZE znázorňuje obr. 5.4.



Obr. 5.4 Projekcia výroby elektriny z OZE (Národný akčný plán pre obnoviteľné zdroje energie, 2010).

5.2.2. Obnoviteľné zdroje energie na výrobu tepla a chladu

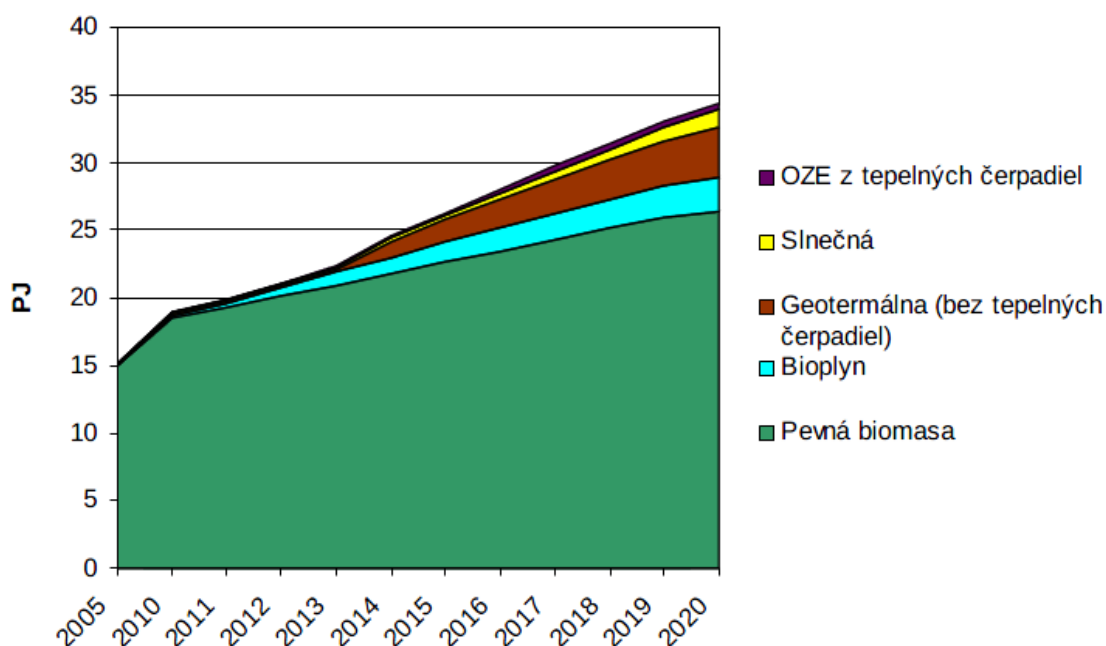
Pri lokálnom vykurovaní (rodinné domy) je dominantným palivom zemný plyn a v prípade centrálného zásobovania teplom tvorí zemný plyn cca 40 % zo všetkých palív. Spotreba zemného plynu na krytie potrieb tepla pre domácnosti je približne 120 PJ

(3,5 mld.m³). Biomasa spolu so solárnym systémom za predpokladu energetických úspor má potenciál znížiť spotrebu zemného plynu o 2 mld.m³. Odhadované využitie OZE na výrobu tepla a chladu uvádza tabuľka 5.4.

Tabuľka 5.4 Odhadované využitie OZE pre výrobu tepla a chladu (Jandačka, 2011).

Zdroj	2010 [PJ]	2015 [PJ]	2020 [PJ]	2030 [PJ]
Biomasa (vrátane bioplynu)	27	41	50	80
Slnčná energia (vrátane prípravy chladu)	0,2	1	8	26
Geotermálna energia (vrátane tepelných čerpadiel)	0,3	1	4	14
Spolu OZE	27,5	43	62	120

Výrobu tepla z OZE znázorňuje obr. 5.5.



Obr. 5.5 Využitie OZE na výrobu tepla
(Národný akčný plán pre obnoviteľné zdroje energie, 2010).

5.2.3. Obnoviteľné zdroje energie pre výrobu biopalív

Smernica 2003/30/ES o odpore používania biopalív, alebo iných obnoviteľných palív v doprave stanovuje pre všetky členské krajiny cieľ využívania biopalív na celkovej energetickej spotrebe motorových palív pre rok 2010 na hodnotu 5,75 % (tabuľka 5.5). Na základe jarného summitu 2007 pre rok 2020 je táto hodnota zvýšená, ako záväzný minimálny cieľ 10 %, ktorý sa má dosiahnuť nákladovo efektívnym spôsobom.

Tabuľka 5.5 Minimálna spotreba biopalív v rokoch 2010 a 2020 na základe spotreby v roku 2006 (Jandačka, 2011).

Rok	2006	2010	2020
Ciele pre biopalivá	2 %	5,75 %	10 %
Potrebné množstvo biopalív (pri spotrebe motorových palív rok 2006)	38 ktoe	110 ktoe	190 ktoe

5.2.4. Scenáre využívania obnoviteľných zdrojov energie pre roky 2020 a 2030

Konzervatívny prístup – 12 % v roku 2020

Na základe predchádzajúcich čiastkových cieľov pre teplo a elektrinu a zohľadnením záväzných cieľov pre biopalivá je možné do rokov 2020 a 2030 pri konzervatívnom prístupe dosiahnuť hodnoty využívania OZE uvedené v tabuľke 5.6.

V roku 2020 je podiel OZE na celkovej spotrebe energie 12 %. Najvýznamnejším OZE v nasledujúcich rokoch bude biomasa. Vzhľadom na jej technický potenciál sa predpokladá významné zvýšenie využívania biomasy (najmä na výrobu tepla) zo súčasného stavu 16 PJ na 66 PJ (rok 2020).

Tabuľka 5.6 Konzervatívny prístup využívania OZE (Jandačka, 2011).

Rok	2010 [TJ]	2015 [TJ]	2020 [TJ]	2025 [TJ]	2030 [TJ]
Biomasa	31 000	48 000	66 000	85 000	120 000
Slnecná energia	300	1 000	6 000	14 000	20 000
Geotermálna energia	200	1 000	3 000	4 500	7 000
Vodná energia	18 000	20 000	22 000	23 000	24 000
Veterná energia	300	-	-	-	-
Energetické odpady	200	-	-	-	-
Spolu	50 000	70 000	97 000	126 500	171 000
Podiel OZE [%]	6,4	9,0	12,0	16,0	21,0

Optimistický prístup – 14 % v roku 2020

Optimistický scenár predpokladá vyššie využívanie biomasy, slnecnej energie a geotermálnej energie (tabuľka 5.7). Tento scenár predpokladá nárast cien ropy o 100 % v roku 2015 porovnaní s rokom 2007 a úroveň ceny skleníkového plynu 25 eur za tonu CO₂.

Pri tomto náraste cien energie obnoviteľných zdrojov energie získajú konkurenčnú výhodu z dôvodu takmer nulových nákladov na svoje využívanie. Aj pri nižšom náraste cien fosílnych palív z hľadiska energetickej bezpečnosti môžu obnoviteľné zdroje energie získať vyššiu podporu prostredníctvom výskumu technológií a pre rok 2020 je možné dosiahnuť 14 %.

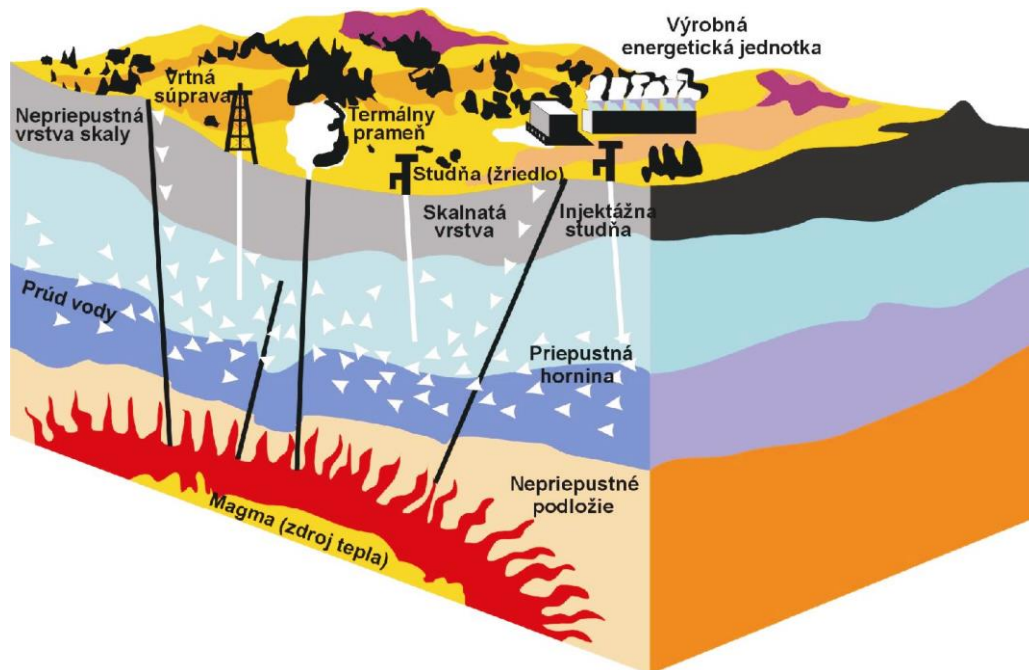
Plnenie cieľa 12 %, resp. 14 % v optimistickom scenári, ktoré sa vzťahujú k hrubej spotrebe energie dáva predpoklad, že cieľ 14 % OZE na konečnej spotrebe energie, ktorý vyplýva z klimaticko-energetického balíčka bude splnený (Jandačka, 2011).

Tabuľka 5.7 Optimistický scenár využívania OZE (Jandačka, 2011).

Rok	2010	2015	2020	2025	2030
	[TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]	[TJ]
Biomasa	31 000	50 000	74 000	90 000	120 000
Slnečná energia	300	3 000	12 000	22 000	37 000
Geotermálna energia	200	2 000	7 000	10 000	14 000
Vodná energia	18 000	20 000	22 000	23 000	24 000
Veterná energia	300	-	-	-	-
Energetické odpady	200	-	-	-	-
Spolu	50 000	75 000	115 000	145 000	195 000
Podiel OZE [%]	6,4	9,5	14,0	18,0	24,0

6. GEOTERMÁLNA ENERGIA

Geotermálna energia má pôvod v žeravom jadre Zeme, ktorého teplota sa odhaduje na 4 000 °C a kde sa rozpadom rádioaktívnych látok a pôsobením gravitačných síl uvoľňuje obrovské množstvo tepelnej energie. Odtiaľ sa tepelná energia pohybom magmy dostáva do vyšších vrstiev zemského plášťa a nakoniec až do zemskej kôry, kde dochádza k ohrievaniu podzemných vôd týmto teplom (obr. 6.1). Často preniká až na zemský povrch, pričom môže mať ničivé účinky na našu planétu v podobe sopečnej činnosti alebo zemetrasenia, ale zároveň môže byť ľudstvu aj prospešná (Jandačka, 2007 d).



Obr. 6.1 Prierez vrstvami zemského plášťa (Toppr, 2007).

Využitie geotermálnych zdrojov siaha ďaleko do minulosti. Existujú archeologické záznamy o tom, že americkí indiáni už pred viac ako 10 tisíc rokmi osídľovali územia v blízkosti geotermálnych zdrojov. Priemyselne sa začali využívať okolo roku 1810, kedy sa začalo s ťažbou minerálov nachádzajúcich sa v geotermálnych vodách v Larderello v Taliansku (Böszörményi, 2001).

V súčasnosti sa geotermálna energia najviac využíva na Islande, ktorý je známy množstvom horúcich gejzírov, žriediel, výronov pary a horúcich prameňov, ktoré sú výdatnými zdrojmi geotermálnej energie. Teplo, pochádzajúce zo zeme, ktorého je na tomto ostrove nepreberné množstvo sa tu využíva pre vyhrievanie obytných domov, skleníkov, verejných budov, bazénov, ale napríklad aj pre vyhrievanie chodníkov počas zimných mesiacov, čo zlepšuje a uľahčuje ich údržbu a úpravu.

Ďalšou krajinou, ktorá geotermálnu energiu využíva vo väčšej miere je najmä Amerika. V roku 2000 dosiahol inštalovaný elektrický výkon v geotermálnych elektrárňach, ktorý od roku 1980 výrazne po celom svete narastá, hodnotu 7 974 MW, z toho v Amerike bolo v tom čase inštalovaných 2 228 MW. Ďalej sa tento zdroj energie významne využíva v Taliansku v oblastiach s aktívnou sopečnou činnosťou, ako je okolie Vezuvu, Liparske

ostrovy a Sicília. V podstatne menšej miere sa geotermálna energia využíva napríklad vo Francúzsku, na Novom Zélande, v Japonsku, Mexiku a na Filipínach (Inforse, 2008; Jandačka, 2007 d).

6.1. Spôsoby získavania geotermálnej energie

Geotermálnu energiu, ktorá predstavuje teplo viazané do suchých hornín alebo do podzemných vôd je možné získavať priamo z horúcich prameňov geotermálnych vôd či parných výronov alebo prostredníctvom vrtov do suchých hornín.

Teplo geotermálnych vôd

Najjednoduchší spôsob získania geotermálnej energie je z horúcich geotermálnych vôd, ktoré vytekajú až na zemský povrch. Vo väčšine prípadov sa však geotermálna voda získava hlbinnými vrtmi. V hĺbke približne 2 500 m sa často nachádza voda o teplote až 200 °C. Geotermálne vody sú prírodné podzemné vody, nachádzajúce sa v zemských dutinách. Sú ohriate zemským teplom natoľko, že ich teplota po výstupe na zemský povrch je vyššia ako je priemerná ročná teplota vzduchu v danej lokalite. Pre priame energetické využitie sú vhodné vody nízkoteplotnej kategórie, ktoré sa podľa teplôt rozdeľujú na dve triedy. Do prvej triedy spadá geotermálna voda s rozsahom teplôt 30 až 70 °C a do druhej triedy je zaradená geotermálna voda s teplotami v rozsahu 70 až 100 °C. Časť geotermálnych vôd je klasifikovaná ako kúpeľové vody, ktoré sa podrobujú zvláštnemu režimu využitia. Ich čerpanie iba pre energetické využitie je neprípustné. Nevýhodou, ktorá bráni širšiemu využívaniu geotermálnych vôd je, že tieto vody zvyčajne obsahujú veľké množstvo minerálov, najmä solí, ktoré sa usadzujú v potrubných systémoch a technologických zariadeniach a postupne ich tak zanášajú. Soli sa voči ocelovým materiálom správajú agresívne a hrozilo by rozožieranie rozvodných systémov aj vykurovacích telies. Využívanie geotermálnych vôd sa preto nezaobíde bez použitia výmenníkov tepla a častej výmeny potrubí, ako aj častého čistenia systémov.

Teplo suchých hornín

Teplo zo suchých hornín sa môže získavať buď pomocou rúrkových kolektorov, ktoré sa osádzajú do suchých vrtov alebo pomocou injektovania povrchovej vody a jej spätného čerpania systémom dvoch a viac vrtov. Súčasná vrtacia technika je schopná sa dostať až do hĺbky 10 km pod zemským povrchom. Vo vrstve zemského obalu v tejto hĺbke sa nachádza dostatok energie na pokrytie potrieb našej planéty na obdobie niekoľko tisícročí. Teplo postupuje zo žeravého zemského jadra smerom k povrchu. Teplotný nárast sa pohybuje v rozmedzí od 20 do 40 °C na vertikálny kilometer. U rúrkových kolektorov je voda cez potrubia pumpovaná do hĺbky, kde sa zohrieva. Na povrch sa dostáva cez spätné vedenie a môže sa meniť na paru, ktorú je možné využiť pre výrobu elektrickej energie. Tento druh energie je dôležitým zdrojom energie v miestach, kde je vulkanická činnosť. Výhodou tejto technológie je, že ohriata voda nie je v tomto prípade mineralizovaná.

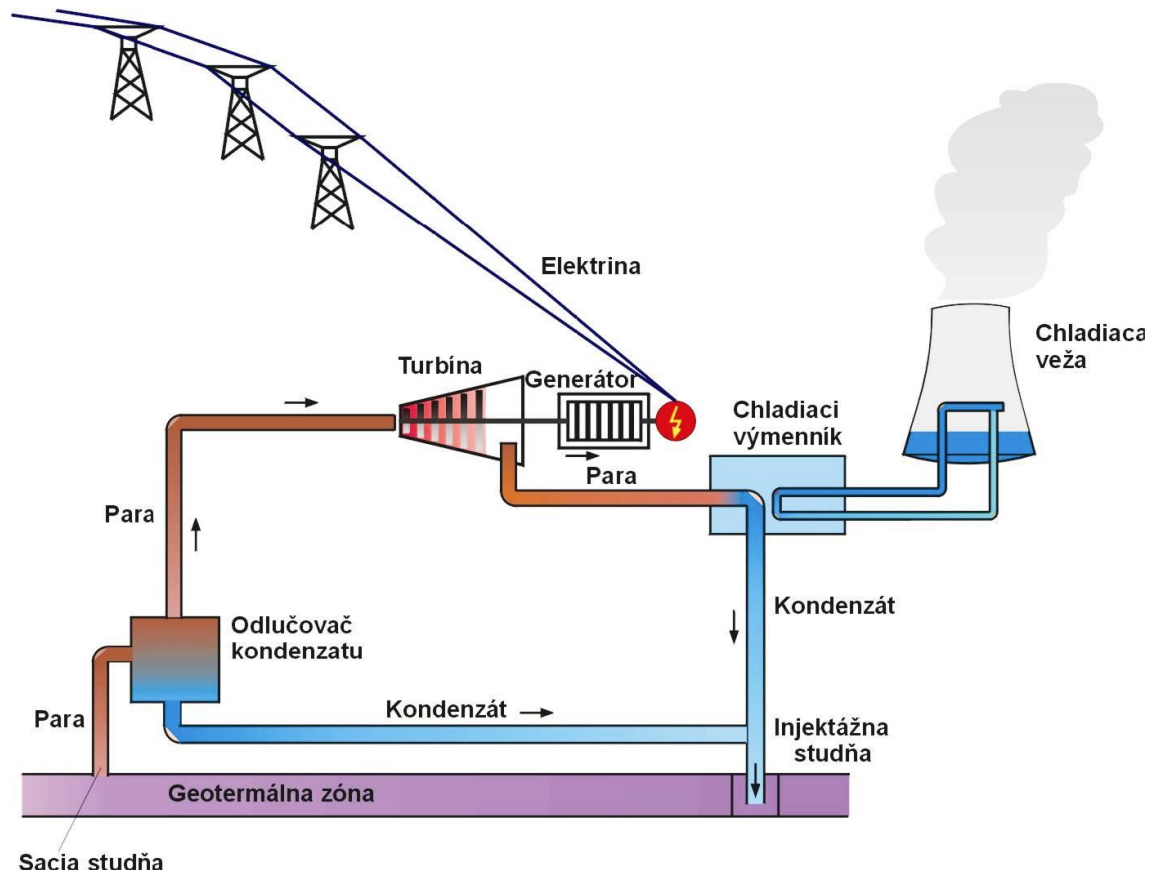
Využitie teploty skál a hornín pod zemským povrchom sa v súčasnosti v niektorých krajinách Európy, napríklad vo Veľkej Británii, javí veľmi perspektívne, nakoľko ide o relatívne čistú alternatívu ku klasickým zdrojom palív (Jandačka, 2007 d).

6.2. Geotermálne elektrárne

Geotermálne elektrárne sa využívajú na výrobu elektrickej energie tepelnou energiou z vnútra Zeme. Stavajú sa najmä vo vulkanicky aktívnych oblastiach, kde k pohonu turbín využívajú horúcu paru vystupujúcu pod tlakom z gejzírov a horkých prameňov (obr. 6.2).

Druhou možnosťou je pumpovať do vrtov, aby sa v hĺbke zeme ohriala. Ohriata voda o vysokej teplote potom prúdi z hĺbín zeme k výmenníku tepla v elektrárni, kde odovzdáva svoje teplo vode v sekundárnom okruhu. Voda v sekundárnom okruhu sa premieňa na paru o vysokom tlaku a roztáča parnú turbínu, cez ktorú prechádza.

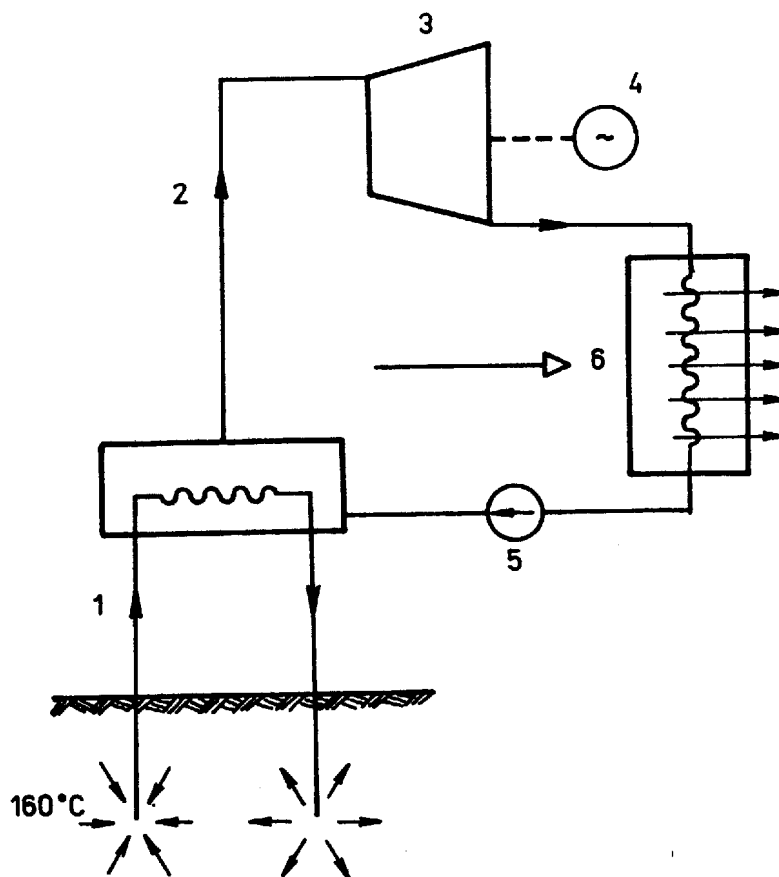
Celkový inštalovaný výkon geotermálnych elektrární vo svete sa odhaduje na 8 000 MW. Na rozdiel od väčšiny iných typov elektrární, ako sú jadrové elektrárne a elektrárne spaľujúce fosílna palivá, nepotrebujú geotermálne elektrárne žiadne palivo. Ich nevýhodou je, že sú dostupné iba na niektorých miestach zemského povrchu. Navyše využívanie tohto tepla je spojené s rizikami zemetrasení a prepádavania sa zemskej kôry, ako aj s rizikom úniku jedovatých zlúčenín z vrtov, napríklad kyseliny boritej.



Obr. 6.2 Priame využitie pary ako geotermálneho zdroja na výrobu elektrickej energie (Jandačka, 2007 d).

Výstavba geotermálnej elektrárne je asi päťkrát drahšia ako stavba jadrovej elektrárne. Preto podiel týchto elektrární v rámci celej Európy je minimálny, no v niektorých lokalitách (Island) je jeho význam značný.

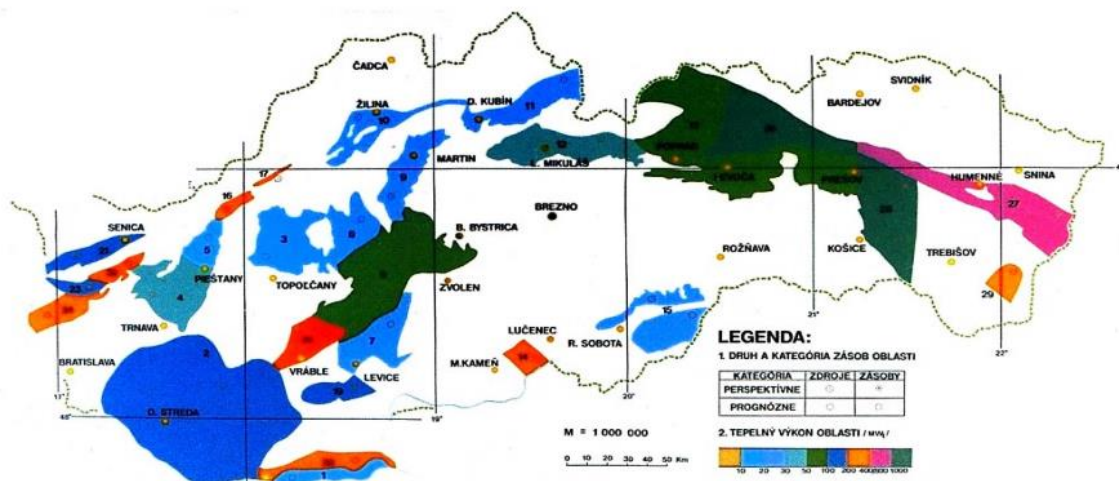
Najjednoduchším typom geotermálnej elektrárne je systém, kde turbína poháňajúca generátor na výrobu elektrickej energie je priamo spojená so zdrojom horúcej pary, ktorá po prechode turbínou uniká do okolia. Ak geotermálna para obsahuje veľké percento agresívne pôsobiacich prímiesí, ktoré by pôsobili korozívne na zariadenia elektrárne, pristupuje sa k čisteniu pary v separátore. Najjednoduchší spôsob čistenia je pomocou výmenníkov, takže turbína už pracuje s čistou parou. Moderné zariadenia používajú ako obehové médium izobután a propán (obr. 6.3). Odstránia sa problémy s vlhkou parou a zvýši sa tepelná účinnosť, ktorá je vzhľadom na nízku výstupnú teplotu (okolo 140 °C) nízka. Vyššia účinnosť elektrárne sa dosiahne pri hybridných elektrárnach, kde prírodná teplá voda (para) sa v kotloch vykurovaných uhlím zohrieva na vyššiu teplotu. Lepšie využitie tepla je tam, kde sa toto teplo využije ešte na vykurovanie bytov (Marko, 1988).



Obr. 6.3 Výroba elektrickej energie z geotermálnej vody
(1-geotermálna voda; 2-sekundárny okruh; 3-turbína; 4-alternátor; 5-čerpadlo;
6-kondenzátor chladený vzduchom) (Marko, 1988).

6.3. Využívanie geotermálnej energie

Územie Slovenska je v porovnaní s inými krajinami relatívne bohaté na geotermálne zdroje. Na základe geologického prieskumu bolo už v roku 1993 vyčlenených 26 perspektívnych oblastí (obr. 6.4).



Obr. 6.4 Rozloženie perspektívnych oblastí geotermálnych vôd na území Slovenska (Bartko, 2014).

Geotermálnu energiu je možné využiť:

- V poľnohospodárstve (vykurovanie skleníkov, fóliovníkov a maštali, sušiarne poľnohospodárskych plodín, rybné hospodárstvo), kde sú vhodné geotermálne vody s teplotou od 25 – 90 °C.
- Vo vykurovaní budov, čo si vyžaduje teploty geotermálnych vôd v intervale 50 – 100 °C, v špeciálnych prípadoch to môže byť aj 40 °C teplá voda; tepelné čerpadlá rozširujú tento spôsob využitia geotermálnych vôd až do teploty 4 °C.
- Pre chladiarenské, mraziarenské účely a iné typy priemyselného využitia, kde sú vhodné vody s teplotou nad 100 °C.
- Na výrobu elektrickej energie (princíp Rankinovho cyklu), čo pre tieto účely umožňuje využívať strednotepločné zdroje geotermálnej energie, ale aj vody od 85 °C až do 170 °C. Takto je možné zostaviť elektrárne s modulmi s výkonom od 0,2 do 120 MWt, elektrickú energiu priamo je možné vyrábať iba z vysokotepločných zdrojov geotermálnej energie.
- V rozvoji rekreácie pre geotermálne vody s teplotou od 25 °C a viac (vznik nových termálnych kúpalísk a aquaparkov).
- V rozvoji nových kúpeľných lokalít na Slovensku (obce, mestá), a to po preukázaní liečivých vlastností nízkotepločných zdrojov geotermálnej energie (Bartko, 2014).

6.4. Využívanie geotermálnej energie na výrobu elektrickej energie

Vo vyspelých krajinách sveta s výskytom geotermálnych vôd a geotermálnych pár sa odborníci sústreďujú aj na výrobu elektrickej energie pomocou geotermálnej energie. Zaradením výroby elektrickej energie do cyklu využívania sa dosiahne efektívnejšie využívanie využiteľného energetického potenciálu a zvýši sa miera využitia geotermálnej energie. Združené tepelnoenergetické využívanie geotermálnej energie, tzv. geocentrála, si zasluhuje pozornosť aj z hľadiska ochrany životného prostredia, lebo tepelne využité

geotermálne vody sa pomocou reinjektážneho čerpadla cez reinjektážny vrt vracajú do pôvodných vodonosných kolektorov a zvodníc.

Ako bezodpadová technológia je nadradená klasickým fosílnym zdrojom paliva, ako aj jadrovému palivu. Geotermálna energia sa využíva na priamu a nepriamu výrobu elektrickej energie (tabuľka 6.1). Sú to väčšinou oblasti s aktívnou vulkanickou činnosťou.

Tabuľka 6.1 Prehľad využívania geotermálnej energie na výrobu elektrickej energie (Petráš, 2001).

Krajina	Inštalovaný výkon [MW _e]	Podiel zo svetovej výroby elektrickej energie [%]
USA	2 850,0	35,0
Filipíny	1 848,0	22,7
Mexiko	743,0	9,1
Taliansko	742,0	9,1
Indonézia	589,5	7,2
Japonsko	530,0	6,5
Nový Zéland	364,0	4,5
Costa Rica	120,0	1,5
San Salvador	105,0	1,3
Nikaragua	70,0	0,9
Island	50,6	0,6
Keňa	45,0	0,6
Čína	28,8	0,4
Turecko	21,0	0,3
Portugalsko	16,0	0,2
Rusko	11,0	0,1
Etiópia	8,5	0,1
Francúzsko	4,2	0,1
Grécko	2,0	0,0
Rumunsko	1,5	0,0
Argentína	0,7	0,0
Thajsko	0,3	0,0
Zambia	0,2	0,0
Spolu	8 151,3	100,0

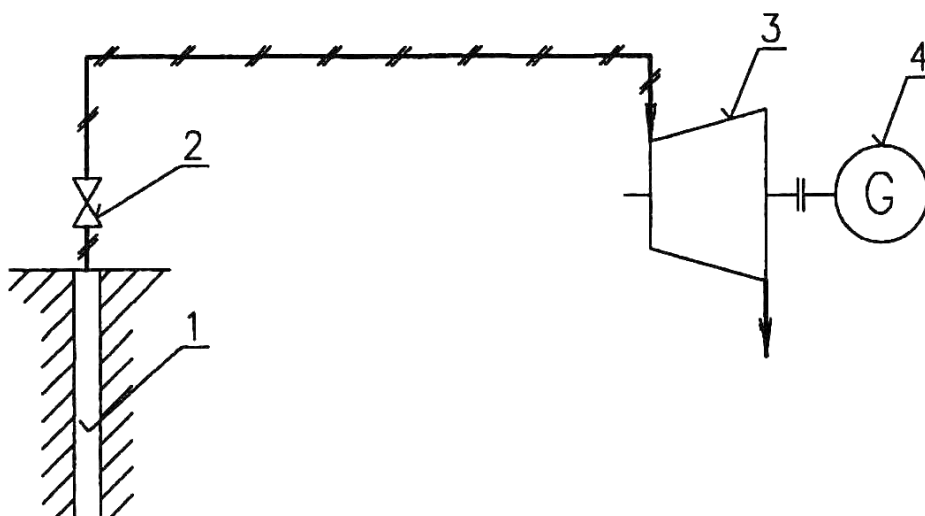
Z tabuľky 6.1 je zrejmé, že USA a Filipíny dominujú vo využívaní geotermálnej energie na výrobu elektrickej energie – spolu je to takmer 4 698,0 MW, čo je 57,7 %. Z európskych krajín je na prvom mieste Taliansko – 742,0 MW, t. j. 9,1 %.

Podľa parametrov zdroja geotermálnej energie, druhu teplotnej pracovnej látky (para, voda) sa rozlišujú systémy:

- Priame využívanie geotermálnych pár.
- Priame využívanie geotermálnych horúcich pár, zaradenie kondenzátora do okruhu.
- Priame využívanie mokrých geotermálnych pár / Vylepšené priame využívanie mokrých geotermálnych pár.
- Nepriame využívanie geotermálnych vôd prostredníctvom výmenníka tepla.

Priame využívanie geotermálnych pár

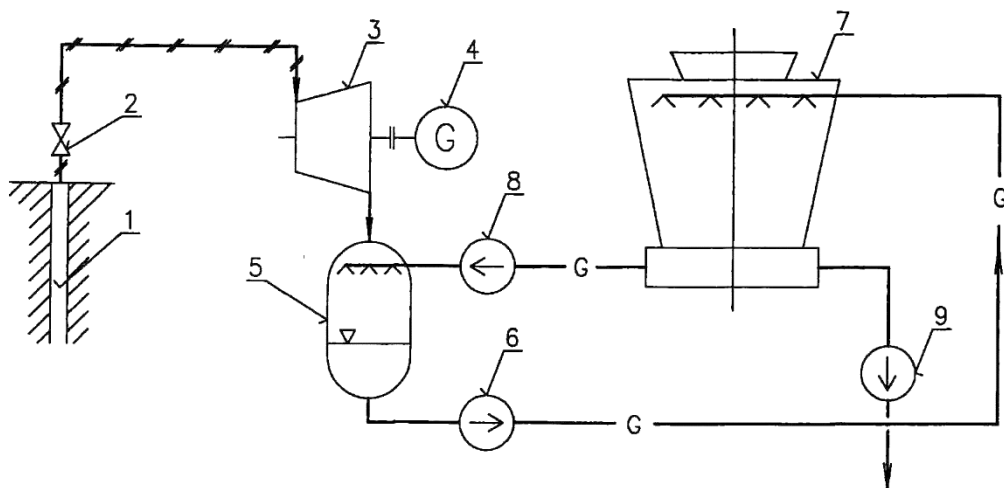
Tento systém sa využíva najmä v tektonických oblastiach, kde sa geotermálna energia vyskytuje vo forme geotermálnych pár. Je to najjednoduchší spôsob využívania geotermálnej energie aplikovaný na Islande, v Taliansku, v USA, na Novom Zélande, a v Japonsku. Zo zdroja sa geotermálna para priamo bez úpravy napojí na špeciálne upravenú parnú turbínu, ktorá roztáča generátor produkujúci elektrickú energiu. Po vykonaní práce v turbíne sa využitá geotermálna para vypúšťa do atmosféry. Nevýhodou tohto spôsobu využívania je, že sa čerpá zo statických zásob a značne sa znečisťuje okolité životné prostredie. Schéma tohto energetického systému je znázornená na obr. 6.5.



Obr. 6.5 Schéma geocentrály s priamym využívaním horúcich pár (1-geotermálny vrt; 2-hlavný uzáver vrtu; 3-parná turbína; 4-generátor) (Petráš, 2001).

Priame využívanie geotermálnych horúcich pár

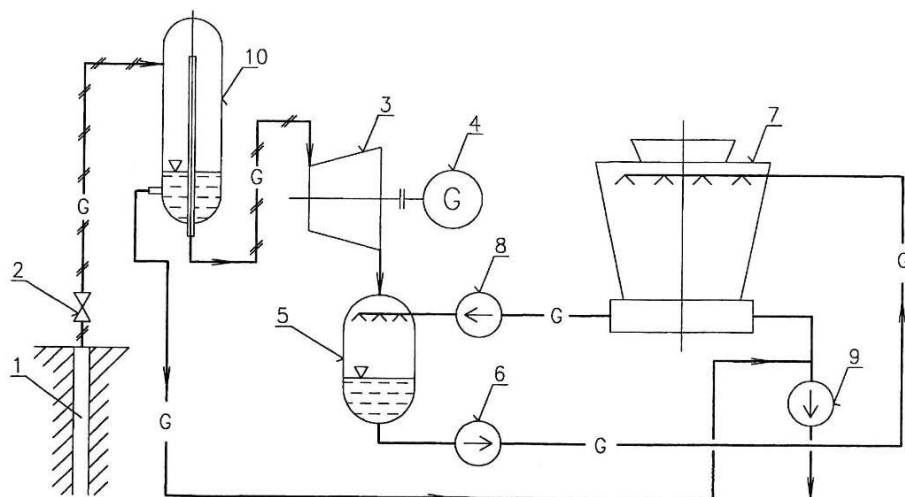
V tomto systéme sa horúce geotermálne pary využívajú podobne ako v predchádzajúcom prípade, len na výstupe z turbíny je zaradený kondenzátor, v ktorom geotermálna para kondenzuje. Kondenzácia sa dosiahne rozstrekovaním ochladenej geotermálnej vody, ktorá sa ochladzuje v chladiacej veži. Využitá geotermálna voda sa vracia do pôvodných vodonosných kolektorov a zvodníc, čím sa dosiahne relatívna rovnováha medzi exploataciou a reinjektážou. Pri odstraňovaní využitého kondenzátu sa prihliada na požiadavky ekológie a ochrany životného prostredia. Schéma zapojenia takejto prevádzky geocentrály je znázornená na obr. 6.6.



Obr. 6.6 Geocentrála s priamym využívaním horúcich pár a s kondenzátorom (1-geotermálny vrt; 2-hlavný uzáver vrtu; 3-parná turbína; 4-generátor; 5-kondenzátor; 6-čerpadlo chladiaceho okruhu; 7-chladiaca veža; 8-čerpadlo chladiaceho okruhu; 9-reinjektážne čerpadlo) (Petráš, 2001).

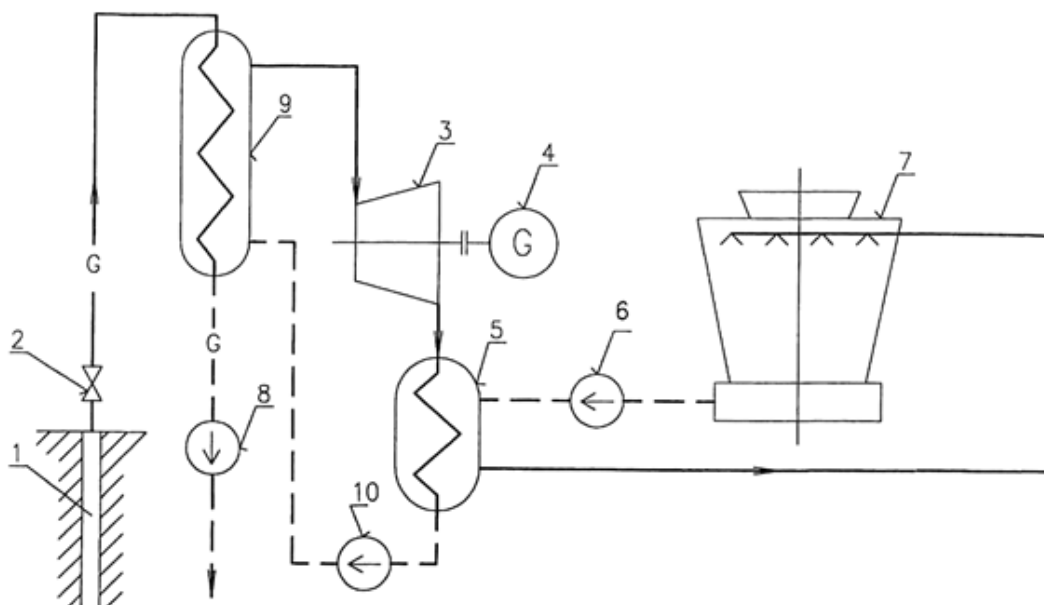
Priame využívanie mokrých geotermálnych pár

V tomto energetickom systéme sa do okruhu zaraďuje parný separátor, ktorého úlohou je oddeliť geotermálnu paru od geotermálnej vody. Mokrú paru zo zdroja vyústi do separátora pary, odkiaľ separovaná para vstupuje do špeciálnej parnej turbíny a po odovzdaní svojej energie postupuje do kondenzátora. V závislosti od teploty geotermálnej vody sa pary ešte využijú v ďalšom stupni, alebo sa vracajú späť do pôvodných kolektorov a zvodníc. Využitý kondenzát, resp. geotermálna voda, sa reinjektuje pomocou reinjektážneho čerpadla. Schéma zapojenia tohto systému prevádzky geocentrály je znázornená na obr. 6.7.



Obr. 6.7 Geocentrála s priamym využívaním horúcich pár, separátorom a s kondenzátorom

(1-geotermálny vrt; 2-hlavný uzáver vrtu; 3-parná turbína; 4-generátor; 5-kondenzátor; 6-čerpadlo chladiaceho okruhu; 7-chladiaca veža; 8-čerpadlo chladiaceho okruhu; 9-reinjektážne čerpadlo; 10-separátor pár geotermálnej vody) (Petráš, 2001).



Obr. 6.9 Schéma zapojenia geocentrály s nepriamym využívaním geotermálnych vôd (1-geotermálny vrt; 2-hlavný uzáver vrtu; 3-parná turbína; 4-generátor; 5-kondenzátor; 6-čerpadlo chladiaceho okruhu; 7-chladiaca veža; 8-reinjekčné čerpadlo; 9-výmenník tepla; 10-obeňové čerpadlo nízkovýparnej látky) (Petráš, 2001).

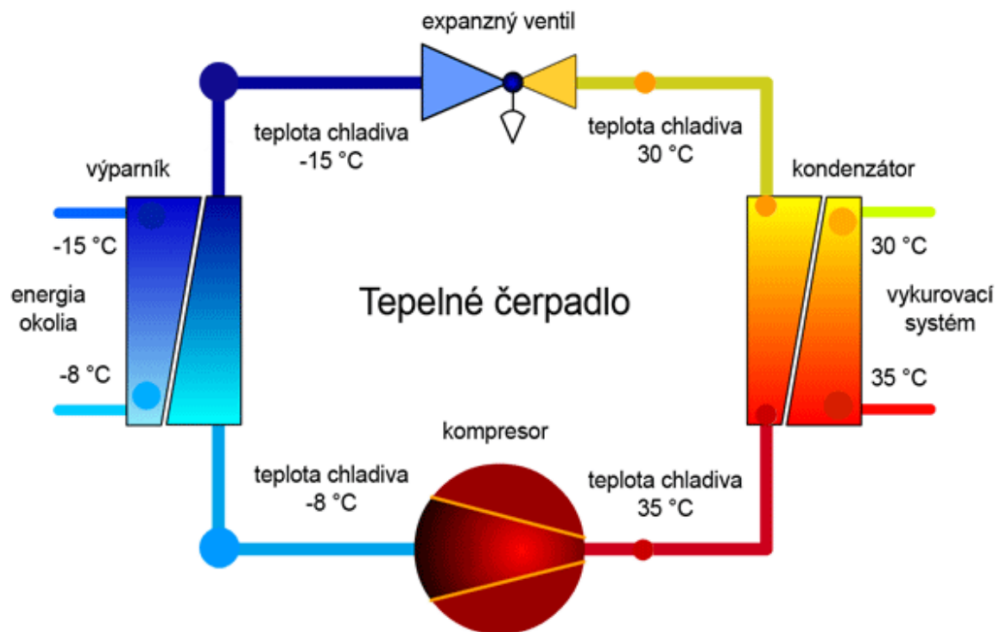
Vzhľadom na formy výskytu geotermálnych vôd na Slovensku možno uvažovať o systéme, pri ktorom sa geotermálna energia využíva pri aplikácii nízkovýparnej pracovnej látky. Z geologického hľadiska je najvhodnejšia lokalita Košická kotlina (Petráš, 2001).

6.5. Tepelné čerpadlá

Tepelné čerpadlo predstavuje systém, ktorý je schopný transformovať nízkopotenciálne a zdanlivo nevyužiteľné teplo okolitého prostredia na využiteľnú teplotnú úroveň, ktorá je dostatočná na pokrytie energetickej potreby pre vykurovanie (v zimných mesiacoch), popri prípade chladenie (v letných mesiacoch). Aby takýto proces mohol prebiehať, je potrebné tepelnému čerpadlu dodať relatívne malé množstvo tzv. „vysoko kvalitnej energie“, ktorou môže byť elektrická alebo tepelná energia.

Princíp tepelného čerpadla

Princíp tepelného čerpadla je založený na pochodoch spojených so zmenou skupenstva v závislosti na tlaku pracovnej látky. Pracovná látka (chladiivo), má schopnosť meniť svoje skupenstvo z kvapalného na plynné pri veľmi nízkych teplotách, ktoré sú dané nízkymi tlakmi. K jeho ohriatiu na bod varu preto postačuje nízkopotenciálne teplo.



Obr. 6.10 Princíp tepelného čerpadla (Geotherm, 2022).

Princípom tepelného čerpadla je uzatvorený chladiaci okruh, v ktorom sa teplo na jednej strane odoberá a na druhej predáva (obr. 6.10). Vo výparníku chladivo za nízkeho tlaku a nízkej teploty odoberá teplo ochladzovanej látky (zdroj nízkopotenciálneho tepla). Následne dochádza k varu a kvapalnú chladivo vo výparníku sa postupne mení na paru. Pary chladiva sa z výparníka odsávajú a stláčajú kompresorom na kondenzačný tlak. Po stlačení výrazne narastie ich teplota. Stlačené pary už s podstatne vyššou teplotou aká bola vo výparníku pri vyparovaní chladiva postupujú do kondenzátora. V kondenzátore, ktorý predstavuje výmenník tepla, odovzdávajú svoje kondenzačné teplo ohrievanej látke v sekundárnom okruhu. Tým sa ochladzujú a skvapalňujú. Celý obeh chladiva je uzatvorený odvodom chladiva do výparníka cez expanzný, alebo tiež škrtiaci ventil, ktorý znižuje tlak kvapalného chladiva. Po znížení tlaku je kvapalnú chladivo privádzané späť do výparníka. Tým je obeh chladiva uzatvorený a celý cyklus sa opakuje.

Podľa spôsobu odsávania pár z výparníka a zvýšenia ich tlaku sa tepelné čerpadlá rozdeľujú na:

- Kompresorové, ktoré sa používajú najbežnejšie.
- Absorpčné.
- Hybridné.

Typ tepelného čerpadla sa určuje podľa druhu ochladzovanej a ohrievanej látky. Zvyčajné kombinácie sú vzduch – voda, vzduch – vzduch, voda – voda, nemrznúca kvapalina (solanka, etylalkohol alebo glykoly) – voda alebo zem – voda (Mikulík, 2009 b).

6.6. Zdroje tepla pre tepelné čerpadlá

Prírodné zdroje tepla – vzduch: Najdostupnejším a prakticky neobmedzeným zdrojom tepla pre tepelné čerpadlo je vzduch. Z ekologického hľadiska sa jedná o najvýhodnejší druh tepelného čerpadla, pretože nie je nutné významne zasahovať do prírody a energia odoberaná zo vzduchu sa do neho v podstate vracia cez tepelné straty ohrievaného objektu. Čerpadlo tak významne nenaruša tepelnú rovnováhu okolia a je možné ho prevádzkovať celoročne. Avšak v zimnom období, kedy je potrebné dodávať najviac tepla, zásadne klesá efektívnosť tepelného čerpadla kvôli nízkej teplote vzduchu. Pri teplotnom intervale $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochádza k namrzaniu výparníka od vzdušnej vlhkosti a je nutné, aby bolo čerpadlo schopné fungovať na reverzný chod (obeh tepelného čerpadla sa obráti a zo zásobníka tepla je odoberané teplo, ktorým sa rozmrazuje kondenzátor). Pri teplotách nižších ako $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ je množstvo vlhkosti vo vzduchu malé a námraza sa netvorí. Čerpadlá dokážu pracovať pri teplotách vonkajšieho vzduchu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (niektoré až do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$), ich výkonnosť je však pomerne malá. Tú je možné ovplyvniť teplotou úžitkovej vody v zásobníku. Čím je nižšia, tým vyšší môže byť COP faktor. Z toho dôvodu je výhodné tepelné čerpadlá kombinovať napríklad s podlahovým vykurovaním, ktoré nevyžaduje vysokú teplotu vody v systéme. Alternatívnym zdrojom energie môže byť aj odpadový vzduch z vetraného objektu, ktorý má stabilnejšiu teplotu, avšak obstarávacie náklady pri takomto prevedení sa výrazne navýšia. Nevýhodou vzduchových tepelných čerpadiel je ich vyššia hlučnosť, ktorú spôsobuje ventilátor na kondenzátore a kompresor. Preto je nutné pri projekcii prihliadať na dostatočnú vzdialenosť kondenzačnej jednotky od obývaných objektov, prípadne použiť dostatočnú zvukovú izoláciu. Z dôvodu hluku a vibrácií sa kondenzačné jednotky osadzujú samostatne na betónový podklad mimo obývanú budovu. V podmienkach strednej Európy je vykurovací systém nutné doplniť o ďalší zdroj tepla, pretože v zimných mesiacoch nie je čerpadlo schopné samostatne zabezpečiť potrebnú energiu pre pokrytie tepelných strát objektu. V Českej republike sa dokonca takéto systémy ani neoznačujú ako tepelné čerpadlá, ale ako reverzibilné jednotky. Napriek tomu sa jedná o najrozšírenejší druh tepelných čerpadiel (obzvlášť v oblasti južnej Európy a Ázie), vzhľadom na nízke obstarávacie náklady a relatívne rýchlu návratnosť investície.

Vzduchové tepelné čerpadlá sa vyrábajú v prevedení:

- *Vzduch – vzduch* – výhodou je možnosť reverzného chodu a tak je tepelným čerpadlom možné chladieť v letnom období, avšak energiu nie je možné výhodne akumulovať v zásobníku a dopyt a výroba nemusia byť zosúladené.
- *Vzduch – voda* – energia zo vzduchu sa ukladá do zásobníka tepla, čím je možné lepšie pokryť spotrebu tepla v reálnom čase. Vykurovací systém musí byť zabezpečený proti zamrznutiu v prípade nefunkčnosti tepelného čerpadla a v stredo európskych podmienkach doplnený o ďalší zdroj tepla v zimnom období (bivalentný zásobník). Tepelné čerpadlo môže byť vyrábané v rôznych prevedeniach: rozdelené na vonkajšiu (primárny okruh) a vnútornú (sekundárny okruh) jednotku, alebo ako jedna kompaktná jednotka umiestnená vnútri budovy alebo mimo budovu, k čomu je nutné prispôbiť prívod zdrojového vzduchu a rúrok s teplotonosnou látkou.

Prírodné zdroje tepla – voda: Použitie vody ako zdroja tepla pre tepelné čerpadlo je výhodné obzvlášť pre jej stabilnejšiu teplotu pri porovnaní so vzduchom, ale dostupnosť tohto zdroja je logicky menšia a projekcia takéhoto zariadenia je aj administratívne a konštrukčne komplikovaná.

Vodu, ako tepelný zdroj, je možné rozdeliť do troch kategórií:

1) *Povrchové vodné toky (rieky, jazerá, rybníky, nádrže, ...)*

Primárny okruh tepelného čerpadla je napustený nemrznúcou kvapalinou, aby v zimných mesiacoch nedochádzalo k zamrznutiu. Výmenník tepla (plošný kolektor) je nutné zabezpečiť proti silnému toku rieky (povodni), zanášaniam nečistotami, a inštalácia je relatívne jednoduchá. Príliš nízka teplota vody znižuje efektívnosť čerpadla a je nutné, aby vodný tok v zimných mesiacoch kompletne nezamrzol. Na obr. 6.11 je znázornené tepelné čerpadlo – zdroj tepla / voda.



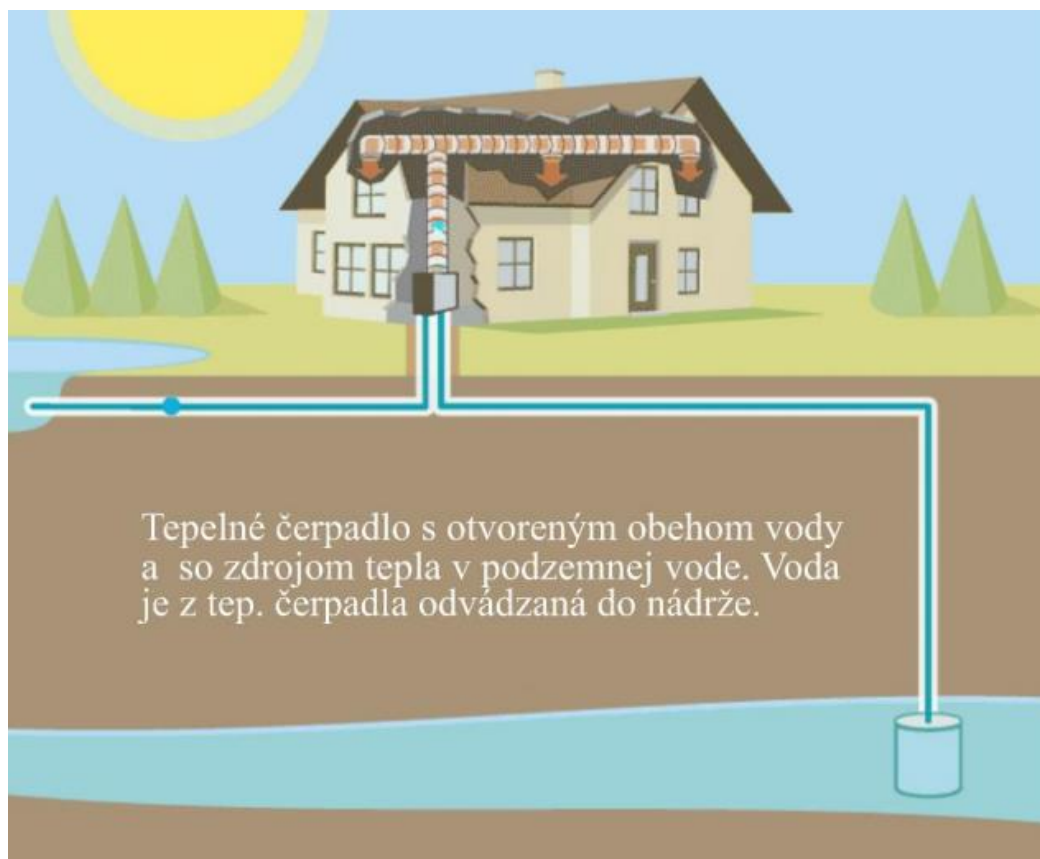
Obr. 6.11 Tepelné čerpadlo – zdroj tepla / voda (Čaja, 2020).

2) *Podzemné vodné toky*

Teplotná úroveň podzemných vodných tokov sa pohybuje v rozmedzí cca 10 °C až 15 °C, pričom počas roka sa táto teplota výrazne nemení. Využitie podzemných vôd si vyžaduje dve studne – jednu, z ktorej sa voda odčerpáva (zdrojová) a druhú, do ktorej sa privádza (vsakovacia). V primárnom okruhu je použitá priamo podzemná voda, čo zvyšuje nároky na čistotu vody. Pri veľmi znečistenej vode sa do studne vkladá plastový výmenník tepla, jedná sa o nepriamy odber tepla. Vďaka stabilnej teplote zdroja je tento typ čerpadiel jedným z najlepších z hľadiska efektívnosti, z hľadiska investičných nákladov je však jedným z najnáročnejších a zároveň je problematické získať povolenia na tak významný zásah do prírody a vodných zdrojov. Obe studne musia byť od seba

dostatočne vzdialené, aby nedochádzalo k tepelnému ovplyvneniu. Hĺbka studne / vrtu sa odporúča cca 10 m.

Vysoká teplota prameňov je výhodným zdrojom energie nie len pre tepelné čerpadlá, avšak chemické zloženie vody, environmentálny zásah a veľmi obmedzená dostupnosť neumožňujú významné využitie tohto zdroja pre tepelné čerpadlá. Na obr. 6.12 je znázornené tepelné čerpadlo – zdroj tepla / podzemná voda.



Obr. 6.12 Tepelné čerpadlo – zdroj tepla / podzemná voda (Čaja, 2020).

3) Prírodné zdroje tepla – pôda

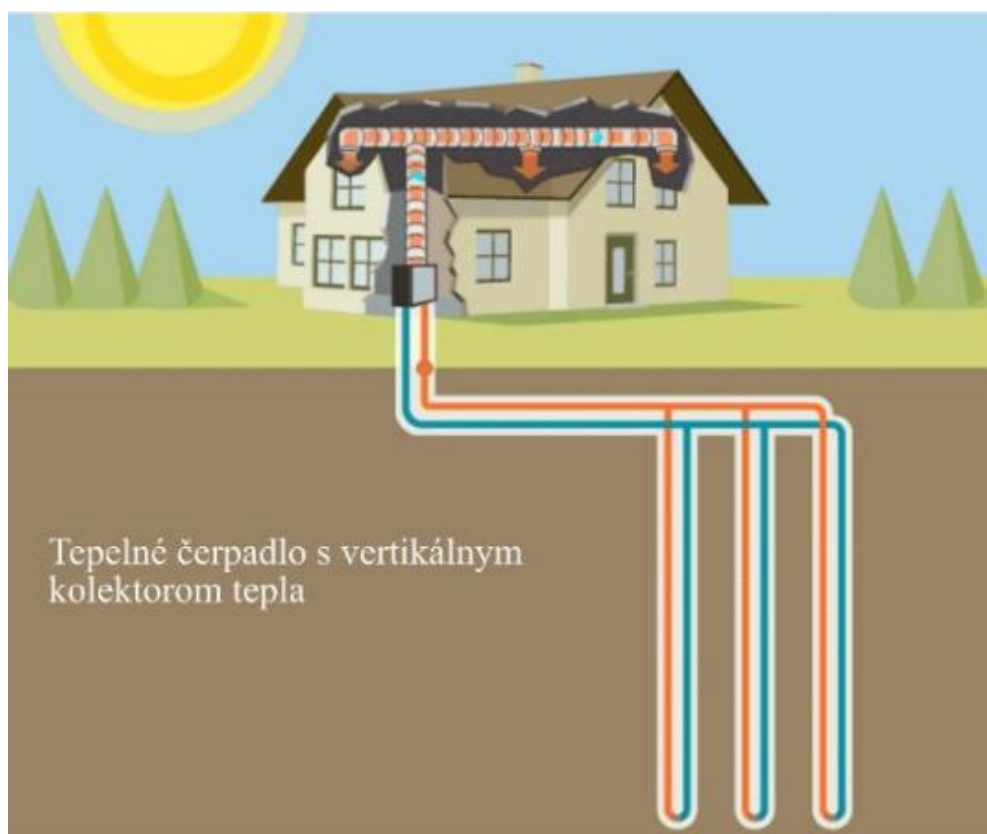
Geotermálnu energiu zo zeme je možné čerpať pomocou plošných kolektorov, hĺbkových vrtov alebo energetických pilotov. Zemina sa navyše správa ako akumulátor tepla získavaného zo slnečného žiarenia. Teplota zeminy je pomerne stabilná a s rastúcou hĺbkou vrtu sa stabilita zdroja zvyšuje, pričom od cca 15 m má teplota zeminy stálych 10 °C (v stredoeurópskych podmienkach). Naopak čím bližšie je k povrchu, tým väčšie výkyvy teploty je možné očakávať, stále však podstatne menšie ako vo vzduchu. Od úrovne cca 15 m sa teplota so zvyšujúcou sa hĺbkou zvyšuje o tzv. geotermický gradient, čo je približne 1 °C na 30 – 40 metrov. Chladné obdobie vyjadruje teplotu zemského povrchu -5 °C, mierne chladné obdobie má teplotu povrchu 0 °C, mierne teplé 10 °C a teplé obdobie znamená, že teplota povrchu Zeme je 20 °C. Tieto hodnoty sú typické pre výpočtovú lokalitu Česká republika, Šumava. Oblasť do 15 m hĺbky získava významnú časť energie zo slnečného žiarenia. Geotermálna energia zo zemského jadra prevažuje cca od hĺbky 30 m.

Tepelné čerpadlá využívajúce zem ako zdroj tepla sú investične najnáročnejšie. Je to spôsobené nutnosťou vytvoriť hlboké vrty, alebo rozložiť výmenník tepla do veľkej plochy.

Výmenník tepla, resp. kolektor, je napustený nemrznúcou kvapalinou, pričom sa odporúča rozdiel teplôt medzi vstupom a výstupom do výparníka maximálne 4 K. Pri hlbinných vrtoch je nutné navrhnuť výmenník tak, aby nedochádzalo k jeho zamŕzaniu, ktoré rapídne znižuje účinnosť výmeny tepla a následne aj efektívnosť celého zariadenia. Tvar kolektora v zemi je závislý na konkrétnej aplikácii, najčastejšie sa používajú rúrky v tvare písmena U pre hĺbkové vrty, alebo do špirály zvinuté rúrky, či meandrovité rozloženie v plošnom kolektore.

Hlbinné vrty

Hĺbka vrtu sa pohybuje cca od 60 do 300 m, v závislosti na zložení zeminy, teréne a požadovanom výkone. Vrtov môže byť niekoľko a tesne pod povrchom môžu byť spojené do jedného zberača / rozdeľovača, avšak vrty musia byť od seba vzdialené minimálne 5 m, aby nedochádzalo k vzájomnému ovplyvneniu. Odhaduje sa, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potrebných cca 12 – 18 metrov hlboký vrt. To je samozrejme závislé na zložení zeminy, najmä na obsahu vody v pôde. Na obr. 6.13 je znázornené tepelné čerpadlo využívajúce teplo z hlbinného vrtu.



Obr. 6.13 Tepelné čerpadlo využívajúce teplo z hlbinného vrtu (Čaja, 2020).

Energetické pilóty

V prípade stavby budovy na nespevnenom podlaží, prípadne ak sa jedná o výškové budovy, je nutné vybudovať okrem klasických základov aj tzv. základové pilóty.

Takéto pilóty je možné využiť aj ako výmenníky tepla a získavať tak energiu zo zeme. Na železnú konštrukciu pilótu sa pripojí špirálovitý výmenník tepla, ktorý sa následne vloží do predvrtanej pilótovej diery. Z energetického hľadiska platia pre pilóty rovnaké pravidlá ako pre hlbinné vrty.

Plošné kolektory

Horizontálne kolektory sú finančne menej náročné ako hlbinné vrty, nevýhodou je nutnosť veľkého pozemku a po zapustení kolektora je táto plocha obmedzená na ďalšie využitie (nie je možné stavať ďalšie objekty, alebo sadiť stromy). Zároveň je nutné kolektor umiestniť dostatočne hlboko, aby nedochádzalo k ovplyvneniu vegetácie nad ním. Mimo vykurovacej sezóny musí byť systém odstavený, aby sa pôda stihla tepelne regenerovať. Tepelný výkon je závislý na zložení pôdy a na veľkosti výmenníka. Ten by mal byť zhruba trikrát väčší ako je podlahová plocha vykurovaného objektu (v stredoeurópskych podmienkach) (Čaja, 2020).

6.7. Meranie výkonových charakteristík plynového a elektrického tepelného čerpadla

6.7.1. Úvod a ciele merania

Cieľom merania je zistiť, zhodnotiť a porovnávať výkonové charakteristiky, COP a PER pri získavaní nízkopotenciálneho tepla zo zeme a vzduchu pomocou dvoch tepelných čerpadiel. Jedno poháňané elektrickou energiou a druhé plynovým spaľovacím motorom.

Cieľom tohto merania je:

- 1) Meranie výkonových charakteristík tepelných čerpadiel (TČ) pri rozdielnych princípoch získavania nízkopotenciálneho tepla (zem – voda, vzduch – voda).
- 2) Stanovenie COP a PER pre tepelné čerpadlo a plynové tepelné čerpadlo.

6.7.2. Použité metódy a vybavenie pre meranie

Na meranie výkonových charakteristík bude použité tepelné čerpadlo Viessmann Vitocal 300G BW (obr. 6.14) a plynové tepelné čerpadlo Aisin GHP 10HP (obr. 6.15) využívajúce na svoj pohon spaľovací motor TOYOTA na zemný plyn. Obe zariadenia sa komerčne využívajú na vykurovanie a chladenie budov a cieľom bude meranie výkonových parametrov a ich vzájomné porovnanie s hľadiska efektívnosti a účinnosti pri získavaní nízkopotenciálneho tepla zo zeme a vzduchu.

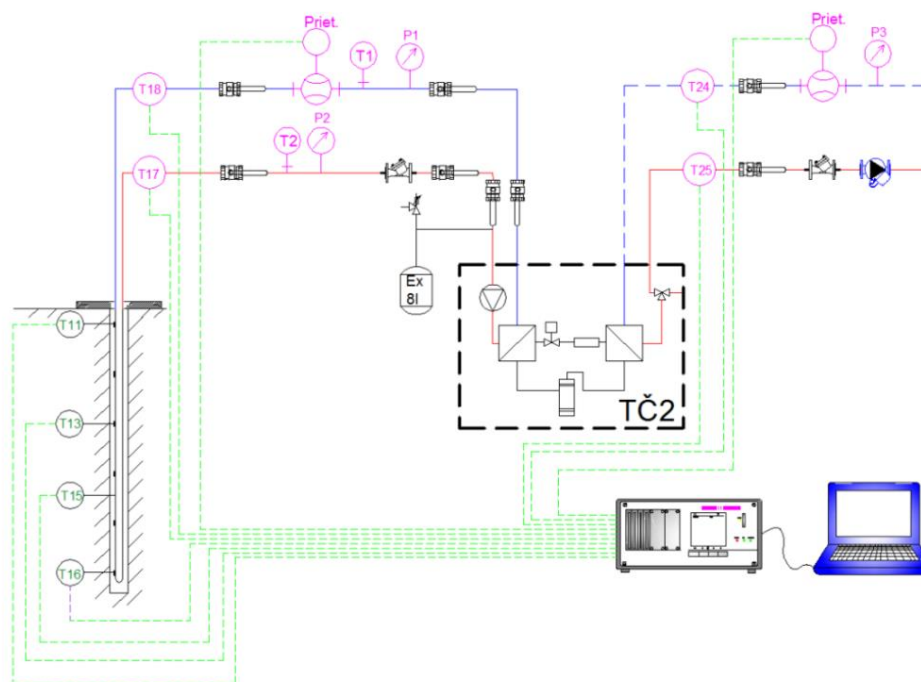


Obr. 6.14 Elektrické tepelné čerpadlo Viessmann Vitocal 300G BW.



Obr. 6.15 Plynové tepelné čerpadlo Aisin GHP 10HP.

Tepelné čerpadlá sú napojené na spoločnú zemnú sondu (hĺbka 150 m) s núteným obehom pracovného média – etylenglykolová zmes s vodou v pomere 50/50. Zemná sonda PE-XA sa využíva v bežnej praxi pri realizácii primárnych okruhov tepelných čerpadiel zem – voda. V zemnej sonde sú umiestnené termočlánkové snímače teploty typu K (NiCr-Ni) série TFAU. Teplotné snímače sú rozmiestnené tak, aby snímali priebeh zmien teplôt v štyroch rôznych hĺbkach vrtu a to v rozmedzí 150, 100, 40 a 5 metrov tesne pod povrchom zeme.



Obr. 6.16 Schéma zapojenia zariadenia tepelného čerpadla zem – voda pre získavanie nízkoenergetického tepla s meracími členmi (Fišer / Vantúch, 2020).

V priebehu meraní je prehľad o zmenách teplôt v jednotlivých hĺbkach vrtu. Na primárnych okruhoch oboch čerpadiel sú inštalované rovnaké meracie prístroje (obr. 6.16) za účelom vzájomného porovnávania meraní a následnom vyhodnocovaní merania. Rovnako je tomu aj na sekundárnych stranách obehov tepelných čerpadiel. Obehové čerpadlá na primárnych stranách sú nainštalované priamo v tepelných čerpadlách, ktoré si samé regulujú ich spúšťanie. Plynové tepelné čerpadlo je schopné získavať teplo aj zo vzduchu. Pre lepšie porovnanie bol meraný a porovnávaný aj tento spôsob získavania tepla s princípom zem – voda.

Schéma a zapojenie zariadenia pre získavanie nízopotenciálneho tepla zo zeme

Schéma celého zariadenia pozostáva z meracích zariadení snímajúcich termodynamické parametre potrebné pre určovanie:

- Tepelného výkonu získaného zo zeme.
- Celkového tepelného výkonu na výstupe z tepelného čerpadla (vykurovací výkon).
- Teplôt v jednotlivých hĺbkach vrtu.
- Teploty na všetkých okruhoch (primár aj sekundár tepelného čerpadla).
- Tlaku vo všetkých okruhoch a potrubných siet'ach.

6.7.3. Postup merania

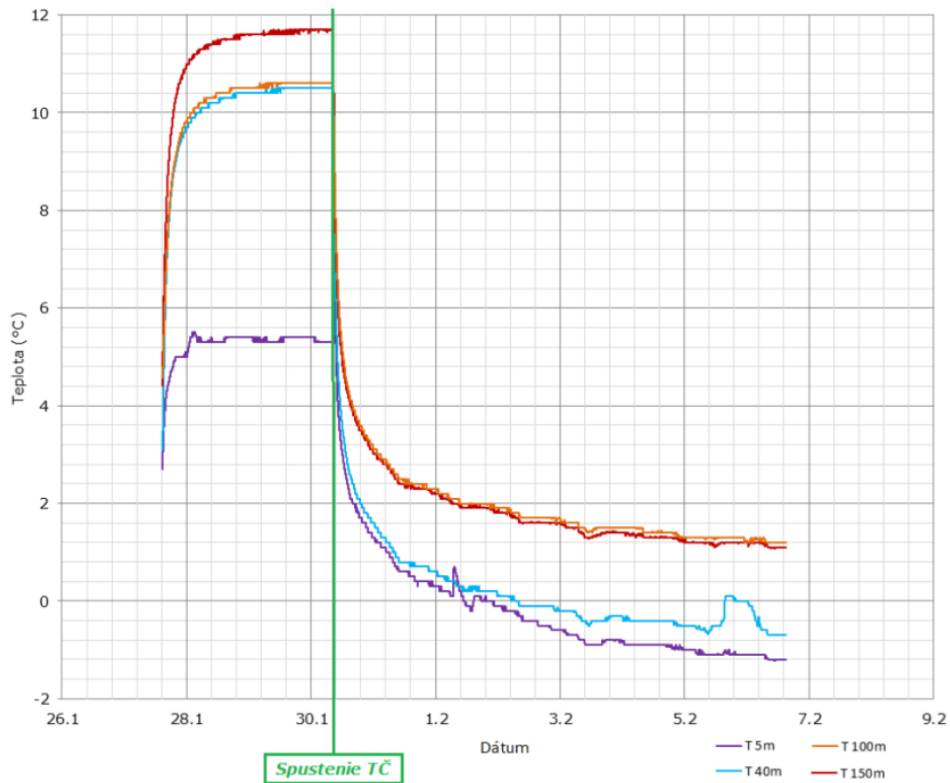
Postup:

- 1) *Meranie termodynamických parametrov pomocou tepelného čerpadla zem – voda – zaznamenávanie všetkých hodnôt na primárnej a sekundárnej strane tepelného čerpadla pri plnom výkone.*
- 2) *Stabilizovanie a regenerácia vrtu – ustálenie teplôt v sonde prebieha cca 3 dni.*
- 3) *Meranie termodynamických parametrov pomocou plynového tepelného čerpadla zem – voda – zaznamenávanie všetkých hodnôt na primárnej a sekundárnej strane tepelného čerpadla pri plnom výkone.*
- 4) *Meranie termodynamických parametrov pomocou plynového tepelného čerpadla vzduch – voda – zaznamenávanie všetkých hodnôt na primárnej a sekundárnej strane tepelného čerpadla pri plnom výkone.*
- 5) *Vyhodnotenie merania a stanovenie faktorov COP a PER – vyhodnotenie všetkých meraných veličín počas troch meraní a porovnanie medzi COP a PER dvoch typov tepelných čerpadiel.*

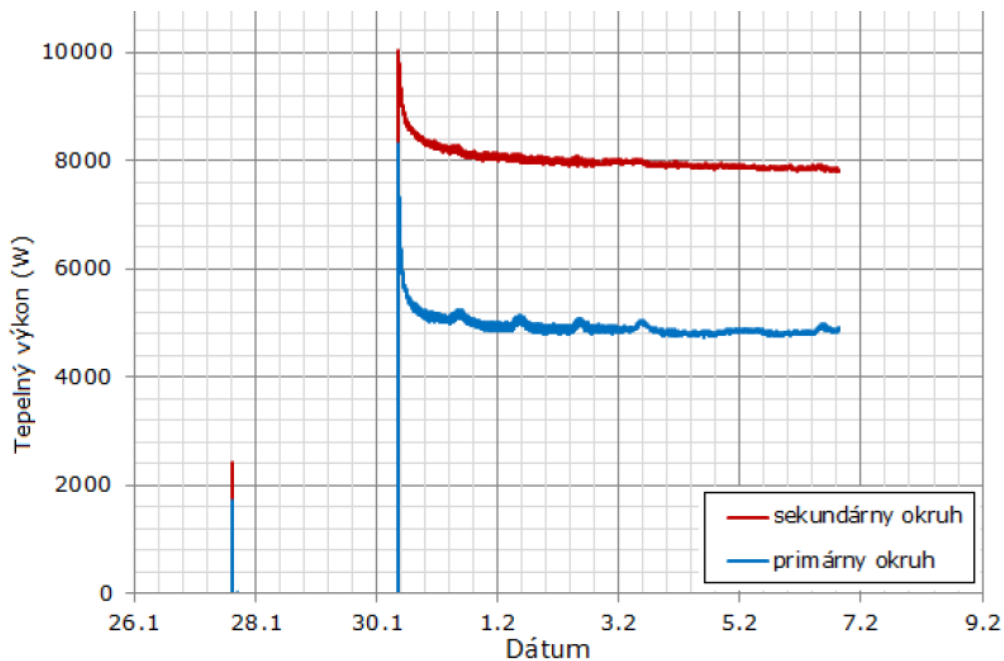
6.7.4. Spracovanie a vyhodnotenie výsledkov

- 1) Porovnanie výkonových charakteristík TČ – výkon na primárnej a sekundárnej strane, rýchlosť ochladzovania vrtu a maximálny výkon na primárnej strane.
- 2) Stanovenie COP a PER pre jednotlivé TČ.

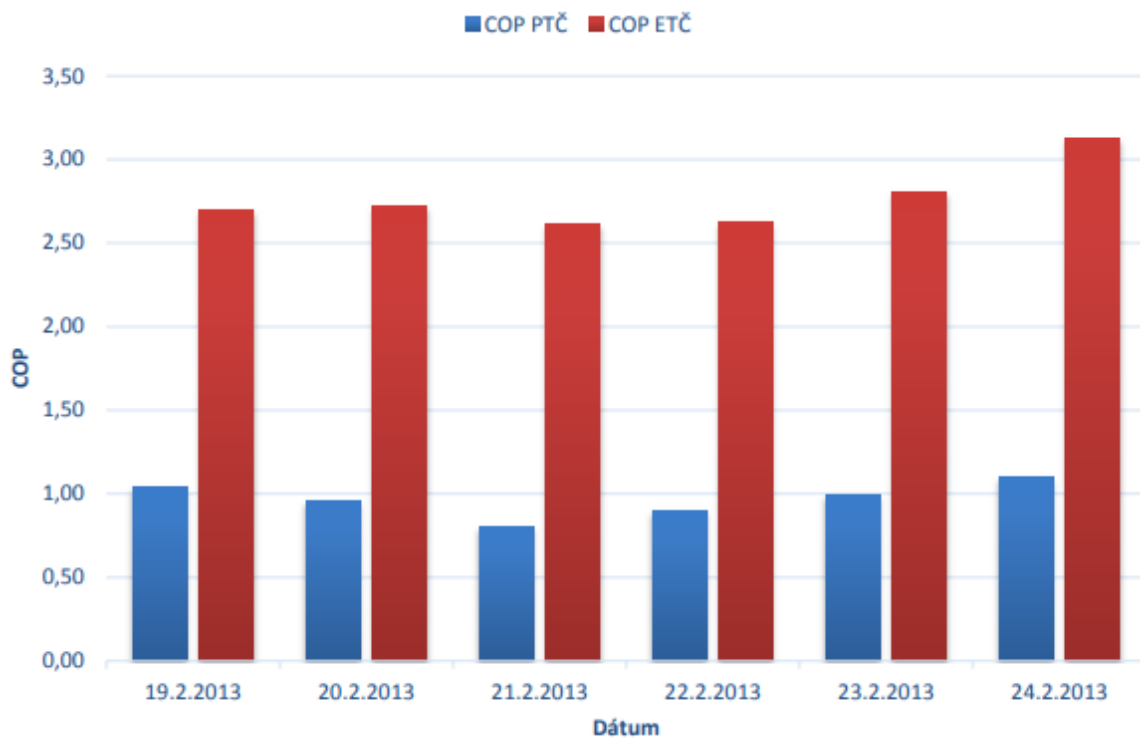
- 3) Porovnanie nameraných a vypočítaných hodnôt medzi jednotlivými typmi tepelných čerpadiel a so spôsobom získavania vzduch – voda.
- 4) Vyhotovenie grafických závislostí meraných tepelných výkonov a priebehov teplôt počas merania (obr. 6.17 až 6.20) (Fišer / Vantúch, 2020).



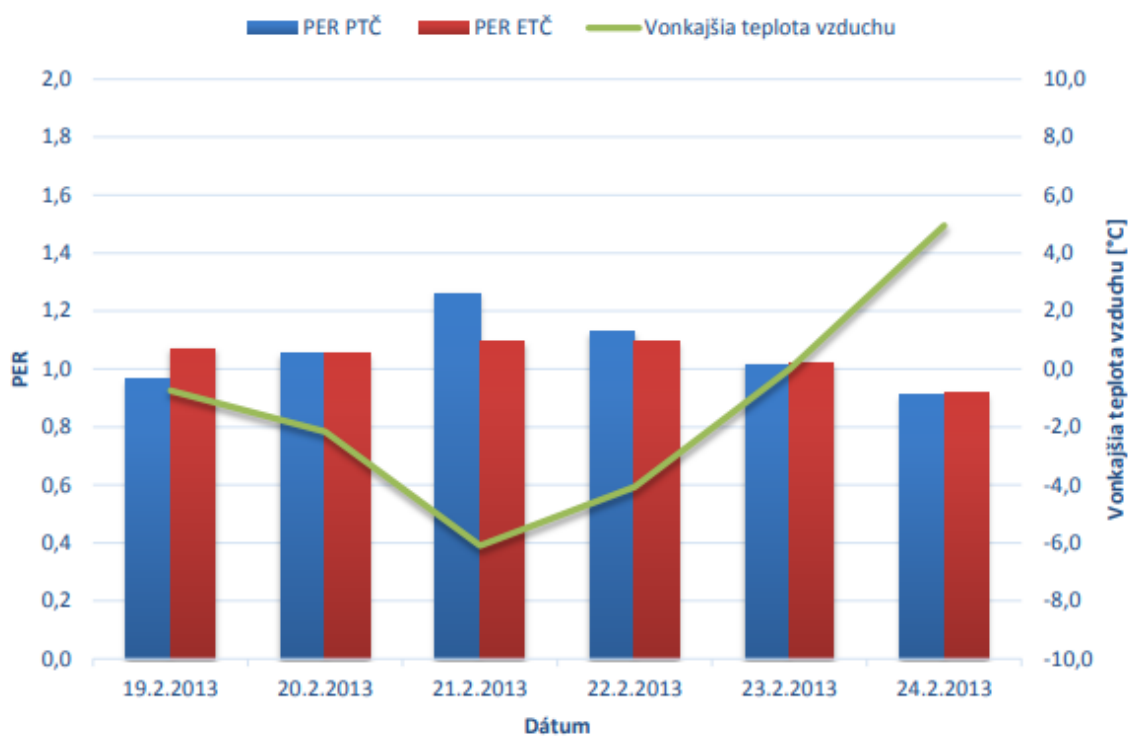
Obr. 6.17 Priebeh teplôt v hĺbkach zemnej sondy (Fišer / Vantúch, 2020).



Obr. 6.18 Priebeh zmeny výkonu (Fišer / Vantúch, 2020).



Obr. 6.19 Porovnanie nameraných výkonových čísiel COP TČ (Fišer / Vantúch, 2020).



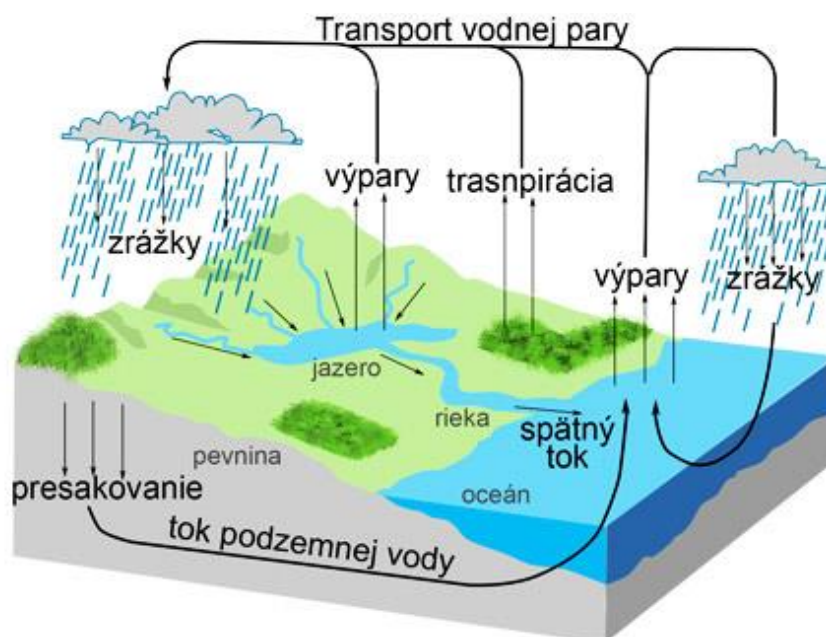
Obr. 6.20 Porovnanie nameraných hodnôt stupňa využitia primárnej energie PER TČ (Fišer / Vantúch, 2020).

7. VODNÁ ENERGIA

Vodná energia, ako aj väčšina ďalších obnoviteľných zdrojov energie vzniká v dôsledku slnečnej aktivity, ktorá napomáha odparovaniu z morí, oceánov a vodných plôch, následne tvorbe vodnej pary, oblakov a nakoniec spätnému návratu na zemský povrch vo forme zrážok, čím sa vytvára uzavretý kolobeh vody (vodný cyklus).

Energiu, ktorú nám voda takto ponúka, je potom možné využiť na výrobu elektrickej energie vo vodných elektrárňach. Výhodou týchto zdrojov je ich flexibilita a skutočnosť, že pri výrobe elektriny neprodukujú škodlivé emisie (vrátane skleníkových plynov). Pri veľkých vodných elektrárňach a vodných dielach sa však preukázali aj ich negatívne dopady na životné prostredie a lokálne ekosystémy. Z tohto pohľadu sa za environmentálne prijateľné zdroje pokladajú vodné elektrárne s menším inštalovaným výkonom, tzv. malé vodné elektrárne (MVE). Ich klasifikácia je v súčasnosti nejednotná a tak sa za MVE v Indii a Číne považujú elektrárne s výkonom do 25 MW, v Latinskej Amerike s výkonom do 30 MW, Európska únia stanovila hranicu 10 MW, ale jednotlivé členské štáty majú túto hranicu položenú ešte nižšie, Nemecko 5 MW a Taliansko iba 3 MW. Na Slovensku bolo v malých vodných elektrárňach v roku 2005 vyrobených 250 GWh elektrickej energie. Kumulovaný inštalovaný výkon v roku 2006 predstavoval na Slovensku 63 MW. Podľa oficiálnych štúdií a strategických dokumentov („Stratégia vyššieho využitia obnoviteľných zdrojov energie” resp. návrh „Stratégie energetickej bezpečnosti SR do roku 2030“), by malo byť pri zohľadnení všetkých environmentálnych rizík vyrobených v malých vodných elektrárňach na Slovensku v roku 2010 350 GWh a v roku 2015 celkovo 450 GWh elektrickej energie (MŽP SR, 2021).

Hydrologický cyklus – Hnacu silou hydrologického cyklu (kolobehu vody) v prírode je slnečná energia a gravitácia Zeme.



Obr. 7.1 Hydrologický cyklus (pdf.truni.sk, 2021).

Vyparovaním z oceánov, morí, riek, jazier a vlhkej pôdy sa voda dostáva do atmosféry v podobe vodných pár. Za určitých meteorologických podmienok para kondenzuje na tzv. kondenzačných jadrách, tvorí oblaky a v podobe zrážok sa dostáva späť na zemský povrch. Časť zrážok vsiakne (infiltruje) do zeme, časť sa odparí a zvyšok sa pôsobením gravitácie dostáva späť po zemskom povrchu, alebo pod ním, do riek, morí a oceánov, čím sa uzatvára hydrologický cyklus. Na rozdelenie zrážok vplýva mnoho faktorov, ale vo všeobecnosti platí tretinové pravidlo, tzv., že tretina spadnutej vody sa vyparí, tretina stečie po povrchu a tretina infiltruje do zeme (obr. 7.1), (pdf.truni.sk, 2021).

Energia obsiahnutá vo vode je využiteľná v rôznych formách. Nositeľom kinetickej energie vody sú morské prúdy a vlny, prílivy a odlivy, ale hlavne vodné toky (rieky). Špeciálnym prípadom využitia vody sú osmotické procesy prebiehajúce vo vode, ktoré môžu mať svoje uplatnenie pri výrobe energie.

Vodnú energiu je možné rozdeliť na:

- Energiu z mora.
- Energia morských prúdov.
- Energia riek, riečok a potokov.

7.1. Energia z mora

Energiu z mora je možné rozdeliť na:

- Tepelnú energiu.
- Využívanie prílivu a odlivu.
- Využívanie energie vln.

Ako svetový oceán sa označuje všetka voda, ktorá sa nachádza na povrchu Zeme s výnimkou vôd na pevninách ako sú rieky, jazerá, podzemné vody. Nepatria sem vody v pevninských ľadovcoch, kryštalická voda nerastov, voda biosféry a voda v atmosférických parách. Vo svetových oceánoch je sústredených 97 % všetkej vody planéty Zeme.

Ako more sa označuje vodná plocha min. 11 600 km². Hustota morskej vody pri 35 % je 1 024,79 kg.m⁻³ a priemerná salinita kolíše medzi 33 a 37 %, môže však byť veľmi nízka, napríklad 7,2 % (Baltické more) alebo 41 % (Červené more). Stredná hĺbka svetových oceánov je 3 790 m. Ak by sa voda rozliala rovnomerne po celej ploche Zeme, dosahovala by hladina do výšky 2 200 m. Svetové oceány majú vlastné rozvrstvenie teplotné, hustotné (závisí na teplote a slanosti). Horná vrstva s premenlivou teplotou je označovaná ako oceánska troposféra. Vrstva spodnejšia, tepelne homogénnejšia sa označuje ako oceánska stratosféra. Hranice medzi nimi sa pohybujú od 100 do 1 000 m hĺbky. Teplota kolíše medzi 29 a -2 °C, kedy sa tvorí ľad.

More je obrovský akumulátor tepla, neustále vlnenie mora predstavuje obrovský zdroj energie, rovnako ako morské prúdy. Príliv a odliv mora možno tiež využívať ako zdroj energie. Moria predstavujú obrovské zásobníky energie (Jiříček, Rábl, 2005).

7.1.1. Tepelná energia z mora

Slnko ohrieva len povrchové vrstvy mora, táto teplá voda neklesá do spodných hĺbok, pretože jej hustota je menšia ako studenejšie vody. V tropických oblastiach sa horné vrstvy ohrievajú na teplotu 25 °C, v hĺbke 1 km je teplota okolo 5 °C. Priemerná teplota povrchovej vrstvy všetkých oceánov je 17,4 °C, ale 52 % plochy má teplotu 20 °C a 35 % až 25 °C. Oceány predstavujú obrovský zásobník tepla a boli vykonávané pokusy o využívanie tejto energie. Jedným z projektov je systém označovaný ako OTEC (Ocean Thermal Energy Conversion).

Tento spôsob získavania energie z teplej vody mora v tropických oblastiach vychádza z poznatku, že povrchové vody sa v mori v tropických oblastiach ohrievajú na teplotu 25 °C, prípadne aj viac. Zvýšenie teploty znamená zníženie hustoty vody, ktorá neklesá do hĺbky, kde je nižšia teplota a teda vyššia hustota vody. Tým vzniká teplotný spád medzi povrchovými vodami, ktoré v sebe akumulujú slnečnú energiu. V skutočnosti dochádza aj vplyvom konvekcie a turbulencie k čiastočnému prenikaniu teplej vody do spodných vrstiev. Slnečný ohrev tvorí asi 85 % príjmu tepla a zostáva v hornej asi 1 m vrstve. Zvyšok sa odráža od do atmosféry. Ďalšia časť tepla sa do morskej hladiny dostáva odrazom od oblohy, trením vôd pri prílive a odlive, trením vetra o vodnú hladinu. Okrem príjmu dochádza aj k vyžarovaniu tepla, prúdením do studeného vzduchu a ďalší podiel tvorí odparovanie vody do atmosféry. Uvádza sa, že teplota vody v mori v hĺbke 1 km nepresahuje +5 °C. Tento teplotný gradient medzi teplou vodou na hladine a studenou vodou v hĺbke je možné využiť pre pohon plynovej turbíny a na výrobu elektrického prúdu. Kvapalina (amoniak, propán, ...) sa vyparí pri teplote horných vrstiev vody a vzniknuté pary poháňajú plynovú turbínu a tá roztáča generátor pre výrobu elektrického prúdu. Časť vyrobenej energie sa spotrebuje na čerpanie studenej vody, potrebnej na ochladenie pár, ktoré prešli turbínou. Voda sa čerpá z hĺbok 600 až 1 000 m. Určitým problémom je doprava alebo využitie vyrobeného elektrického prúdu, pretože takéto zariadenie je obyčajne zakotvené ďaleko od pobrežia. Pomocou vyrobeného elektrického prúdu je možné vykonávať elektrolýzu vody a vyrábať tak vodík a kyslík, alebo vykonávať skvapalňovanie vzduchu a jeho destilačné delenie na dusík a kyslík. Z dusíka a vodíka je možné vykonávať napríklad syntézu amoniaku. Určité problémy predstavuje zarastanie niektorých častí zariadenia morskými riasami alebo možný únik amoniaku do morskej vody. Pochopiteľne veľkým nebezpečenstvom sú veľké morské búrky, ktoré môžu zariadenie poškodiť (Jiríček, Rábl, 2005).

7.1.2. Energia morského prílivu a odlivu

Pôsobením gravitačných síl okolitých vesmírnych telies vznikajú na zemských moriach prílivové a odlivové javy. Základná funkcia opakovania sa zodpovedá perióde 24 h. 50 min. Presne s takouto periódou obieha okolo Zeme Mesiac. Prílivové a odlivové javy spôsobuje aj Slnko. Striedavý účinok Slnka sa prejavuje 12 hodinovou periódou. Účinok Mesiaca je dvojnásobný s porovnaním účinku Slnka.

Rozdiel hladín pri prílive a odlive je v rozmedzí od 1 do 20 m. Tento rozdiel vodných hladín je možné využiť na výrobu energie. Napríklad počas prílivu naplniť veľké nádrže

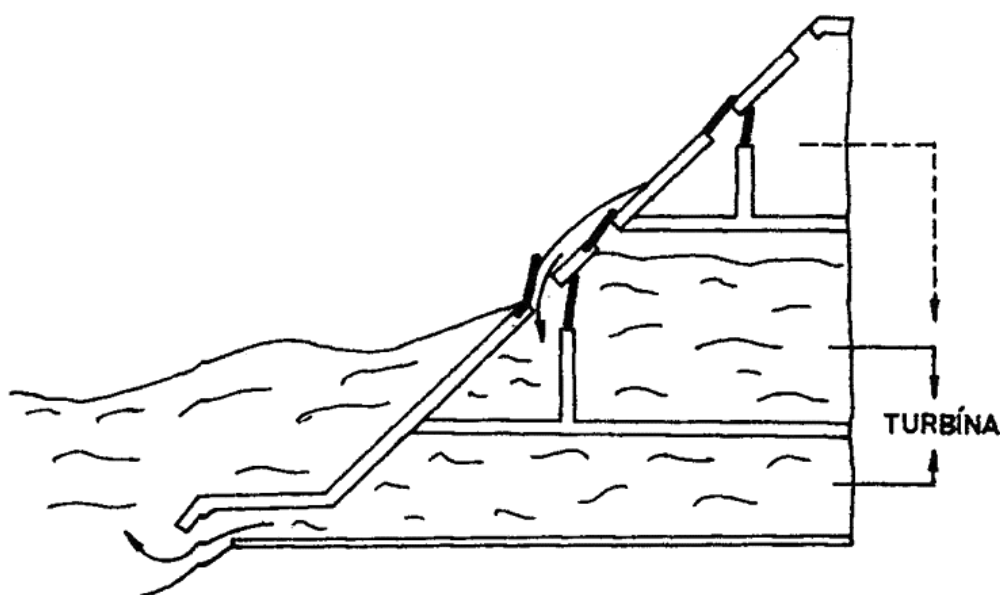
vodou a počas odlivu využiť naakumulovanú vodu na výrobu elektrickej energie vo vodnej elektrárni. Technológie využívajúce vodnú energiu z morí a oceánov na výrobu elektrickej energie sú tzv. prílivové elektrárne.

Prílivová elektráreň (slapová)

Prílivová elektráreň využíva výškový rozdiel vodných hladín najmenej dvoch nádrží, pričom jednu z nich môže predstavovať more. Takáto elektráreň pracuje ako malá vodná elektráreň. Prvá moderná prílivová elektráreň bola postavená v Bretánii (Francúzsko). Prílív má výšku 8,4 m. Priehradná hrádza je 750 m dlhá a plocha nádrže je 22 km². Má 10 agregátov a elektrický výkon predstavuje 240 MW. Využitím energie prílivov by bolo možné ročne získať 7,2 až 11,8 biliónov MJ elektrickej energie.

Ako prechodový typ elektrárne medzi prílivovou a vlnovou elektrárnou (obr. 7.2) je tzv. príbojová elektráreň. Skladá sa z viacerých navzájom poprepájaných komôr. Pri ústupe príboja spätné ventily zabráňujú unikaniu vody. Vytvorený výškový rozdiel medzi hladinou vody, v mori a v komorách sa využíva na výrobu elektrickej energie napríklad klasickou vodnou elektrárnou s malým spádom. Využitie energie morských vln a prúdov naráža na technické a ekonomické problémy spojené so stavbou a prevádzkou takýchto zariadení. Taktiež je potrebné počítať aj s problémom korózie vplyvom pôsobenia agresívnej morskej slanej vody na tieto zariadenia.

Veľké prílivové elektrárne však predstavujú, podobne ako veľké hydroelektrárne, aj značné environmentálne problémy. Zmeny vyvolané regulovaním prílivu a odlivu cestou stavania bariér môžu mať vplyv na okolité prostredie. Vybudované hrádze totiž zvyšujú obsah solí vo vode, podobne ako zvyšujú sedimentáciu a koncentráciu iných škodlivín. Iné technológie využívajúce energiu morí ako napríklad využitie tepelného gradientu v oceánoch sú v súčasnosti len v štádiu zvažovania (Čarnogurská, 2001; Marko 1988; Inforse, 2021).

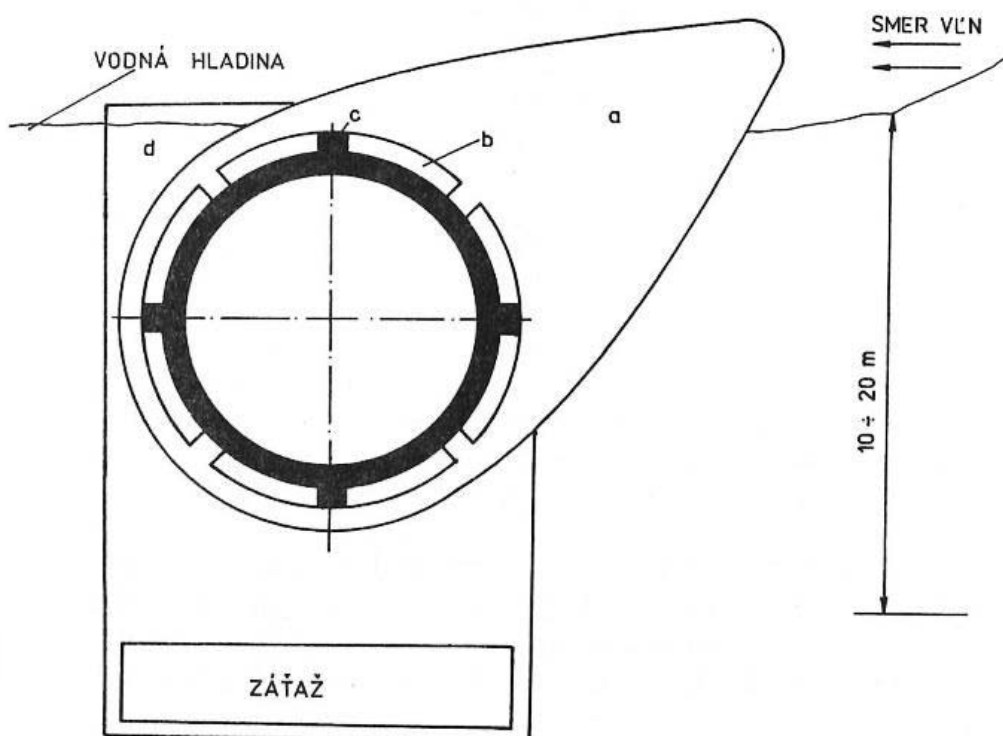


Obr. 7.2 Principiálna schéma príbojovej elektrárne (Marko, 1988).

7.1.3. Energia morských vln a prúdov

Mechanická energia morských vln z hľadiska možného energetického zdroja má tieto nevýhody: je málo koncentrovaná (na jej využitie sú potrebné veľké plochy); jej veľkosť je časovo premenlivá a spravidla sa nekryje s energetickými potrebami danej oblasti; elektrárne využívajúca kinetickú energiu morských vln musí byť konštruovaná tak, aby dokázala pracovať pri veľmi malých vlnách ale aby odolala aj veľkému vlnobitiu.

V praxi boli odskúšané viaceré zariadenia premieňajúce kinetickú energiu morských vln na inú energiu. Princíp činnosti takéhoto zariadenia je znázornený na obr. 7.3. Pohybujúce sa vlny tlačia na vonkajšiu otáčavú časť telesa „a“ smerom doľava a táto pretláča pracovné médium do priestoru „b“. Vnútorý diel „c“ je pevne spojený s ťažkým neotáčavým základom plutvy „d“ a zároveň slúži na spojenie so susednými elementami. Tlak z priestoru „b“ sa využíva na dosiahnutie rotačného pohybu, ktorý sa používa na pohon generátora (Marko, 1988).



Obr. 7.3 Zariadenie premieňajúce kinetickú energiu morských vln na elektrickú energiu (Marko, 1988).

7.1.4. Energia teplotných gradientov oceánov

Povrchové vrstvy oceánov a morí zachycujú a pohlcujú slnečné žiarenie. Je ich možno považovať za zberače a zároveň akumulátory slnečnej energie. Rozdiel teplôt medzi teplou hladinou a chladnými hĺbkovými vrstvami oceánov je možné využiť k pohonu tepelných motorov (čerpadiel). Rozdiel teplôt povrchových a hlbinných vrstiev závisí na zemepisnej polohe a ročnej dobe a v skutočnosti je tento rozdiel malý, okolo 15 až 22 °C. Aj účinnosť

teplných motorov pracujúcich pri týchto nízkych teplotných gradientoch je tiež nízka. Pretože plochy oceánov sú obrovské, predstavujú perspektívny energetický zdroj.

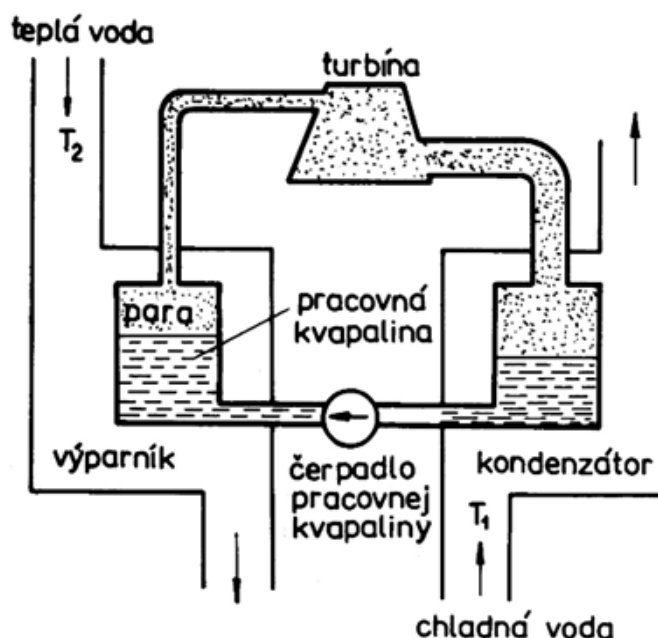
Francúzi vyvinuli elektráreň s výkonom 3,5 MW, kde studená voda je čerpaná z hĺbky 5 km a dosiahli tak rozdiel teplôt ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) pre pohon teplých motorov.

Elektráreň využívajúca teplotné gradienty oceánov

Na myšlienke využitia rozdielu teploty vody v oceáne bolo v roku 1929 na severnej strane Kuby spustená do prevádzky elektráreň tohto typu.

Elektrárne pracujúce na báze využitia gradientov teploty vody v oceáne môžu byť:

- Elektrárne pracujúce s otvoreným Rankinovým cyklom.
- Elektrárne pracujúce s uzavretým Rankinovým cyklom.



Obr. 7.4 Principiálna schéma elektrárne využívajúca teplotné gradienty mora (Čarnogurská, 2001).

Teplá voda (T_2) sa privádza do výparníka od hladiny a odvádza svoje teplo pracovnej kvapaline, ktorá sa vyparuje (čpavok, etán, propán, bután). Chladná voda o teplote (T_1) sa privádza do kondenzátora, kde odoberá teplo pracovnej látky, takže pracovná látka opäť skvapalnie. Pary pracovnej látky slúžia na pohon turbíny (obr. 7.4).

Zásoby tepla v oceánoch sú obrovské. Celá svetová energetická spotreba by mohla byť krytá z tohto zdroja.

Problémom zostáva spôsob využitia takto získanej energie ďaleko od brehu pevniny. Doteraz je jej možnosť využitia obmedzená. Na mieste výroby sa v súčasnosti využíva k rozkladu vody, t. j. k skvapalňovaniu kyslíka a vodíka a následnému prevozu energie v takejto forme na pevninu. Tento spôsob sa v súčasnosti javí ako najperspektívnejší (Čarnogurská, 2001; Marko 1988).

7.2. Energia z morských prúdov

Svetovými oceánmi sa pohybujú rôzne morské prúdy, ktoré premiestňujú obrovské množstvo vody na veľké vzdialenosti, regulujú teplotu vôd ako na povrchu, tak aj v hĺbke a majú značný vplyv aj na klímu pevnín. Za hlavnú príčinu vzniku morských prúdov sú považované veterné systémy a ich účinkom vznikajú nútené prúdy (driftové). Za hranicou účinku vetra sa prúdy pohybujú zotrvačnosťou. Na miesta, odkiaľ bola voda odnesená musí prísť voda nahnaná a tak vznikajú prúdy vyrovnávacie (kompenzačné). Môžu to byť prúdy gravitačné vznikajúce vplyvom tiaže a sklonu morskej hladiny alebo to môžu byť prúdy konvekčné, vznikajúce medzi časťami oceánov s rozdielnymi teplotami. Na Zemi existuje 25 hlavných, veľkých prúdov, a ich energia je obrovská. Najväčší význam z hľadiska energetického využitia má Golský prúd, ktorý ovplyvňuje klímu v Severnej Amerike, Grónsku, Európe aj v Afrike. Z jedného kubického metra morského prúdu by bolo možné získať 0,8 kW, čo je asi desaťnásobok výkonu slnečných batérií. Teoretický výkon Golského prúdu je asi 25 000 MW. Uvažuje sa o turbínach s priemerom asi 170 m, rýchlosť otáčania 1 ot.min⁻¹. Existujú aj ďalšie návrhy. Po stránke technickej sú tieto projekty schodné, ale vznikajú obavy, aké ďalšie dôsledky by mohli také zásahy spôsobiť na ekologickom systéme našej planéty. V našich podmienkach má oveľa väčší význam energia získavaná z toku riek, riečok a potokov (Jiříček, Rábl, 2005).

7.3. Energia riek, riečok a potokov

Voda je nositeľom energie mechanickej, tepelnej a chemickej, najväčší význam má mechanická energia vodných tokov, ktorá je obnovovaná pôsobením Slnka. Rieky môžu byť aj zdrojom tepla pre tepelné čerpadlá. Na celkovej svetovej spotrebe energie sa hydroelektrické zdroje podieľajú asi 5,7 %. Zatiaľ málo využívaným zdrojom energie sú rieky, vodné kanály a zavlažovacie kanály, kde je veľmi malý spád.

Premena potenciálnej energie vody získanej z vodných tokov na energiu elektrickú sa na Slovensku uskutočňuje hlavne v prietochných vodných elektrárňach (Váh, Dunaj), resp. v prečerpávacích vodných elektrárňach (Ružín, Dobšiná, ...). K prietochným vodným elektrárňam patria aj malé vodné elektrárne.

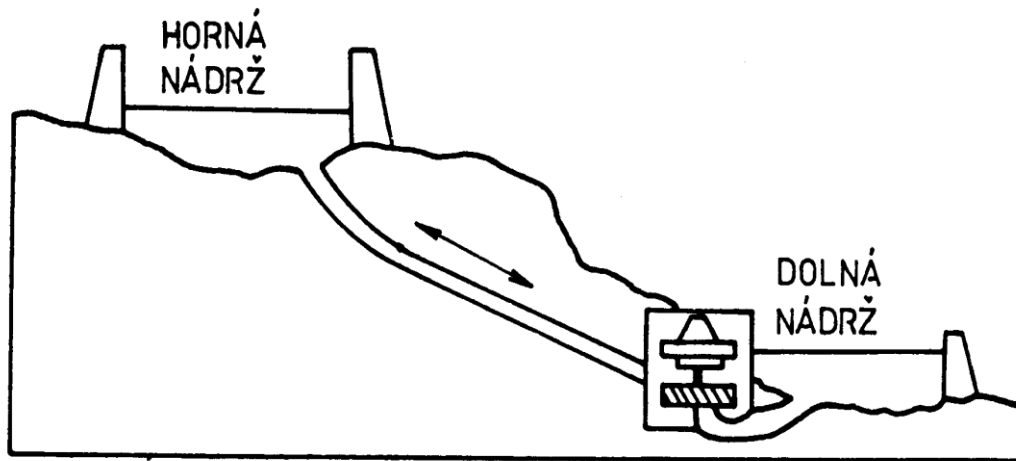
Prečerpávacie elektrárne

U prečerpávacích vodných elektrární voda po odovzdaní práce na turbíne je zachytená v záchytnej nádrži a v čase prebytku elektrickej energie v elektrizačnej sústave (obyčajne v noci) sa táto využíva na prečerpanie vody zo záchytnej nádrže do hornej akumuláčnej nádrže. Tu čaká pripravená na opätovné spustenie turbíny a teda na výrobu elektrickej energie. Charakteristickým znakom prečerpávacej vodnej elektrárne je akumulácia elektrickej energie transformáciou do potenciálnej energie vody. Prečerpávacia vodná elektráreň vyrovnáva denný diagram zaťaženia nielen krytím špičkového zaťaženia (dodávkou elektrickej energie do elektrizačnej sústavy v čase nedostatku elektrickej energie), ale aj odberom elektrickej energie v čase odberového minima (hlavne v noci) a tak transformuje nadbytočnú nočnú energiu na hodnotnejšiu špičkovú energiu.

Z hľadiska vodného režimu sa delia prečerpávacie vodné elektrárne na:

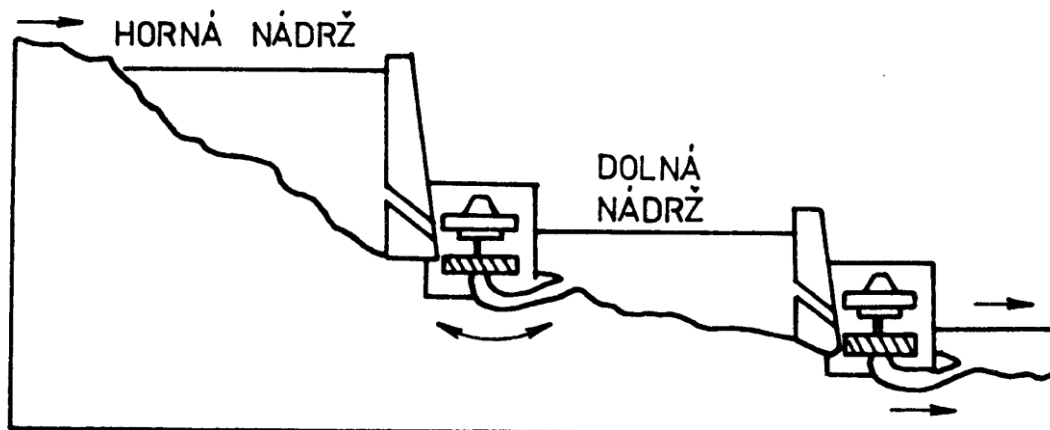
- Klasické prečerpávacie vodné elektrárne.
- Zmiešané prečerpávacie vodné elektrárne.
- Prečerpávacie vodné elektrárne s osobitou čerpacou stanicou.

Klasické prečerpávacie vodné elektrárne (obr. 7.5). Majú umelú hornú nádrž bez prirodzeného prítoku vody do tejto nádrže. Voda sa čerpá z dolnej nádrže, do ktorej existuje malý prirodzený prítok vody, ktorý nahrádza straty vody presakom i výparmi. Objem akumuláčnej nádrže podmieňuje dĺžku trvania turbínovej a následne čerpadlovej prevádzky. Optimálna účinnosť cyklu hydraulickej akumulácie sa dá v súčasnosti dosiahnuť pri pomere výkonu turbíny a príkonu čerpadla v rozsahu 1,1 až 1,5. Toto závisí od strát v privádzacom potrubí pri turbínovej a čerpadlovej prevádzke, účinnosti turbíny a čerpadla, atď.



Obr. 7.5 Klasická prečerpávacia vodná elektráreň (Marko, 1988).

Zmiešané prečerpávacie vodné elektrárne (obr. 7.6). Jej hornú nádrž tvorí priehrada na vodnom toku, takže sa tu využíva okrem akumulovanej energie prečerpávaním aj primárny energetický potenciál vody. Spodná nádrž sa využíva ako vyrovnávacia nádrž s elektrárnou, ktorá reguluje prietok v dolnom úseku vodného toku.

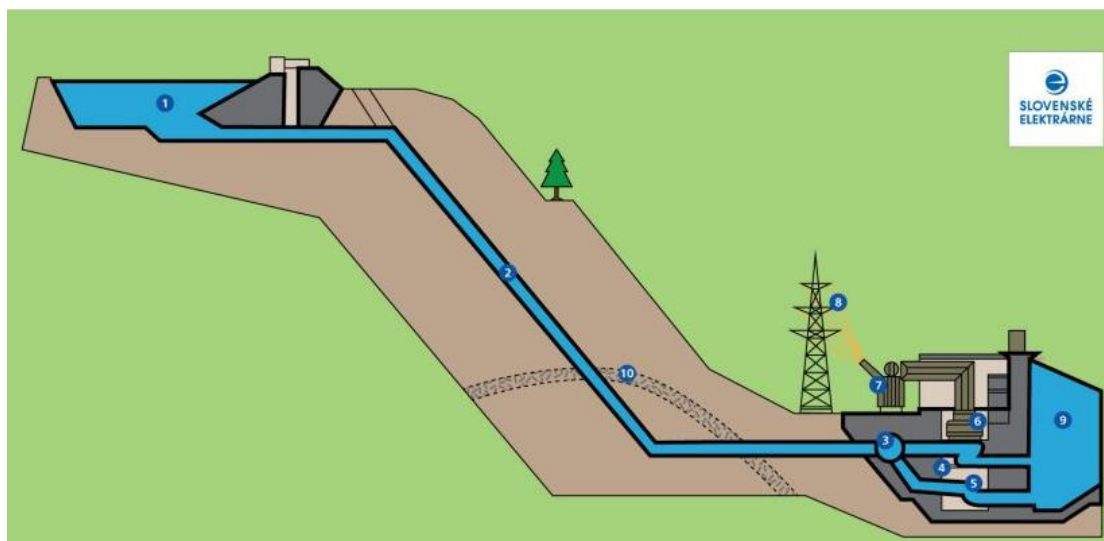


Obr. 7.6 Zmiešaná prečerpávacia vodná elektráreň (Marko, 1988).

Prečerpávacia vodná elektrárňa s osobitou čerpacou stanicou – Buduje sa vtedy, ak možno čerpať vodu do hornej nádrže z údolia, ktoré je položené vyššie ako samotná elektrárňa. V tomto prípade je čerpacia výška menšia ako spád pri turbínovej prevádzke a účinnosť prečerpávania môže byť väčšia ako 100 % (Čarnogurská, 2001; Marko 1988).

7.3.1. Malé vodné elektrárne

Na využitie potenciálu vodných tokov slúžia i tzv. malé vodné elektrárne (MVE) (obr. 7.7). Väčšina malých vodných elektrární slúži ako sezónny zdroj. Prietoky tokov, na ktorých sa MVE zriaďujú, sú kolísavé a často závislé na počasí a na ročnom období.



Obr. 7.7 Princíp malej vodnej elektrárne

(1-horná nádrž; 2-privádzač; 3-guľová odbočka; 4-turbína; 5-čerpadlo; 6-generátor; 7-transformátor; 8-elektrické vedenie; 9-dolná nádrž; 10-geologická porucha) (Slovenské elektrárne, 2021).

Malé vodné elektrárne sú charakteristické tým, že ich výstavba a prevádzka zvyčajne nie je spojená s negatívnymi dopadmi na životné prostredie. Podobne ako veľké vodné elektrárne aj MVE sa vyznačujú vysokou účinnosťou využitia vodnej energie. Navyše majú výhodu v tom, že sú tzv. decentralizovaným zdrojom energie. Tým, že ich je možné inštalovať v odľahlých oblastiach, poskytujú možnosti rozvoja a často aj energetickej sebestačnosti hlavne na vidieku. Vo veľkej väčšine prípadov sú malé elektrárne pripojené na verejnú elektrickú sieť, do ktorej dodávajú energiu. Mnohé z nich sú tzv. prietokové t. j. nemajú žiadny rezervoár a vyrábajú elektrickú energiu len vtedy, keď je vody dostatok. MVE sa vyznačujú veľkou rôznorodosťou v konštrukcii, ktorá zohľadňuje miestne podmienky ako sú spád a prietok vody. MVE s vysokým spádom sú bežné v horských oblastiach a keďže na dosiahnutie daného výkonu potrebujú menšie prietoky vody ako MVE s malým spádom, sú zvyčajne aj lacnejšie. MVE s nízkymi spádmi vody sa budujú v údoliach. Väčšina MVE si vyžaduje prívodný kanál alebo potrubie odvádzajúce vodu z vodného toku. Aby nedošlo k zaneseniu alebo poškodeniu turbíny, voda zvyčajne prechádza cez filter alebo sa používajú usadzovacie nádrže. Prívod vody sa umiestňuje mimo hlavného toku, aby v prípade vysokého stavu vody nedošlo k vysokému tlaku na turbínu.

Keďže riziká spojené s prevádzkou MVE sú omnoho nižšie ako v prípade veľkej vodnej elektrárne (pretrhnutie priehrady), nie sú potrebné ani vysoké bezpečnostné opatrenia pri stavbe, ktorú je možné zvládnuť s použitím jednoduchých technológií (Jandačka, 2007 d).

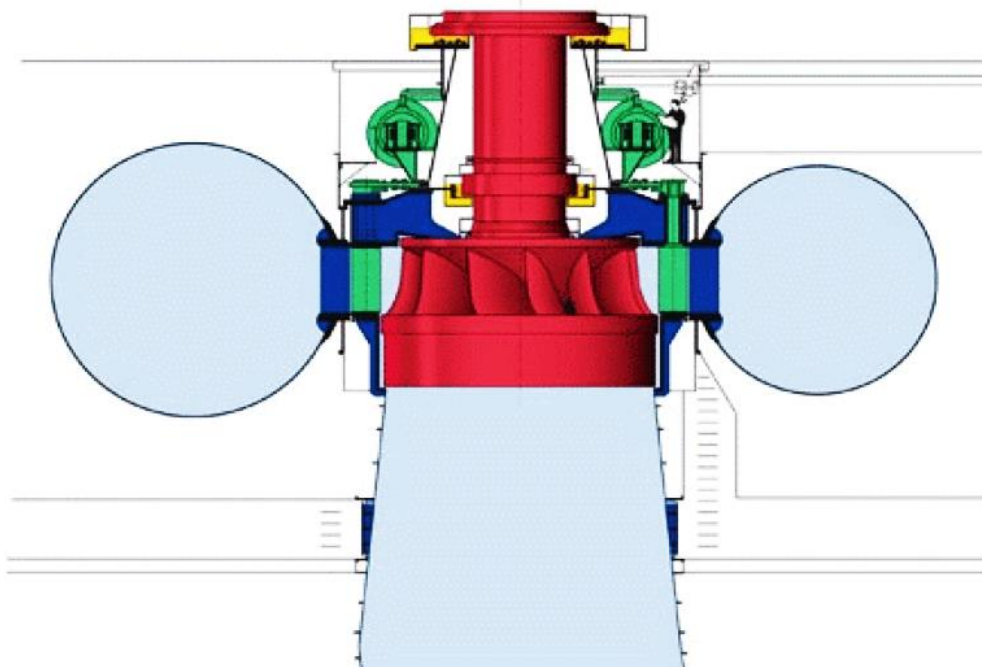
7.4. Vodné turbíny

Najznámejšie a najpoužívanejšie typy vodných turbín sú:

- Bánkiho turbína.
- Francisova turbína.
- Kaplanova turbína.
- Peltonova turbína.
- Priamoprúdová turbína.

Bánkiho turbína – Jedná sa o prietočnú vodnú turbínu. Je vhodná pre malé toky s kolísavým prietokom. Jej účinnosť je nízka, približne 80 %. Regulácia prietoku a tým aj výkonu je vykonávaná naklápaním klapky, ktorá je v tvare kvapky na vstupe do turbíny.

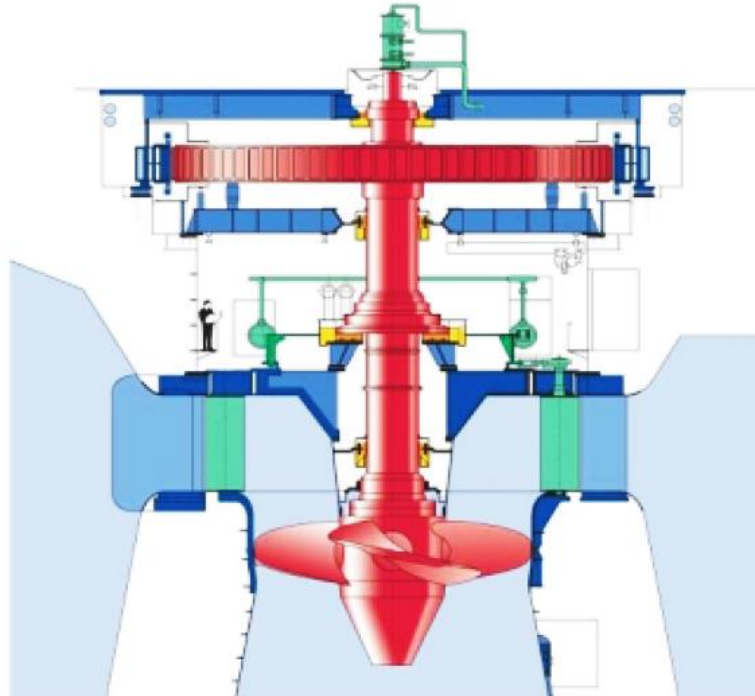
Francisova turbína – Ide o pretlakovú turbínu s účinnosťou cez 90 %. Regulácia výkonu je vykonávaná naklápaním satorových rozvážacích lopatiek. Voda je k turbíne privádzaná špirálovitým privádzačom, ktorého prierez sa znižuje. Po celom obvode privádzača sú umiestnené rozvážacie lopatky, ktorými voda prechádza na kolesa Francisovej turbíny, (obr. 7.8).



Obr. 7.8 Francisova turbína (Šípál, 2013).

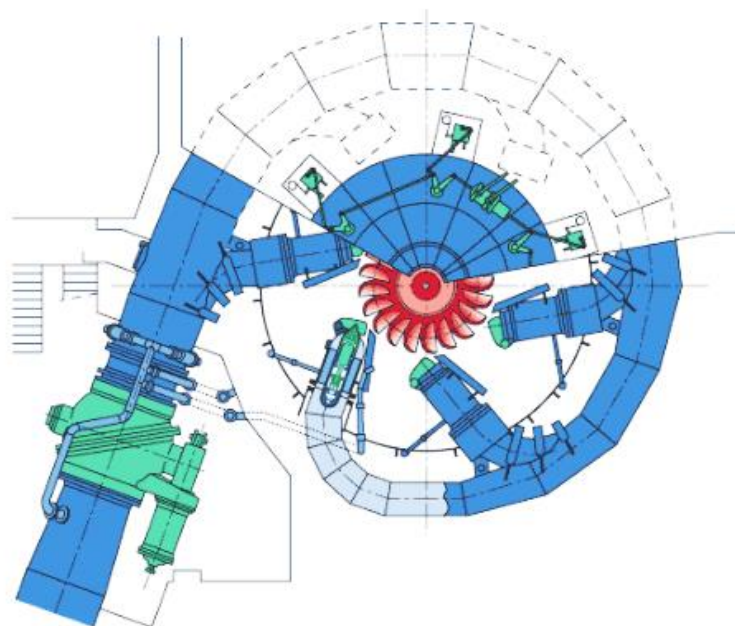
Kaplanova turbína – Vzhľadovo pripomína lodnú skrutku. Na rozdiel od Francisovej turbíny je možné výkon regulovať nielen pomocou rozvážacích lopatiek, ale aj natáčaním rotorových lopatiek. Vďaka tomu má Kaplanova turbína veľký prevádzkový rozsah

už od veľmi malých prietokov. Jej účinnosť sa pohybuje od 80 do 95 %. Rovnako ako pri Francisovej turbíne je voda k turbíne privádzaná špirálovitým privádzačom, ktorého prierez sa znižuje. Po celom obvode privádzača sú umiestnené rozvádzače lopatky, ktorými voda prechádza na Kaplanovu turbínu, (obr. 7.9).



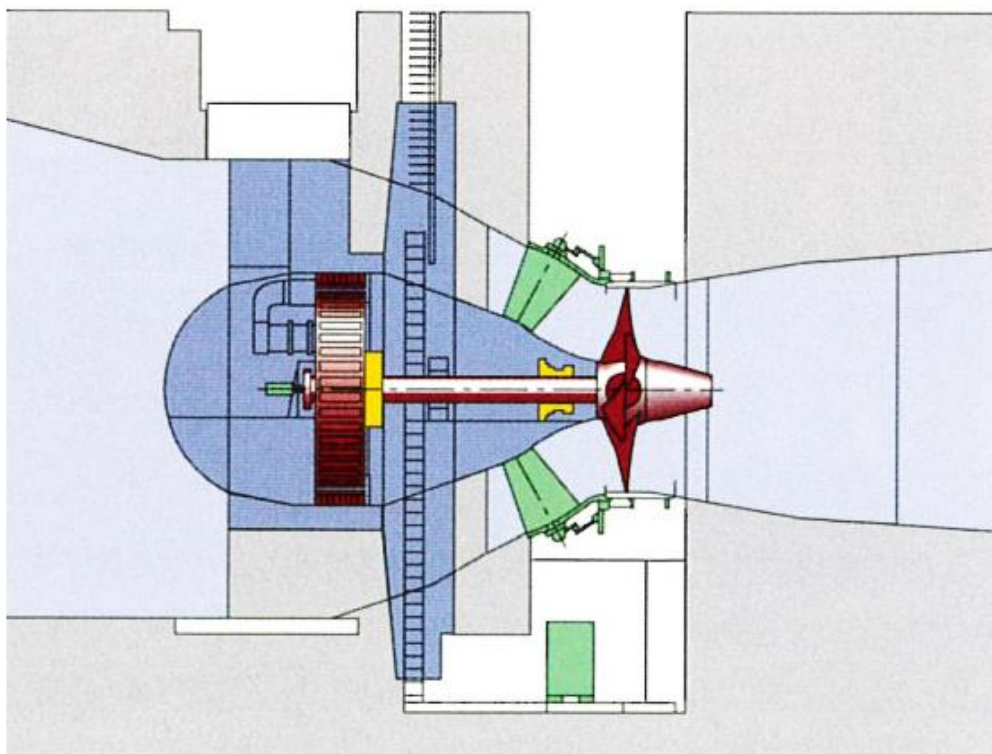
Obr. 7.9 Kaplanova turbína (Šípál, 2013).

Peltonova turbína – Pre veľmi vysoké spády je najvýhodnejšie použitie Peltonovej turbíny, ktorá môže mať jednu alebo viac trysiek. Regulácia výkonu je vykonávaná uzatváraním prúdu vody do trysky. Jedná sa o vodnú turbínu s vysokou účinnosťou 90 až 95 %, (obr. 7.10).



Obr. 7.10 Peltonova turbína (Šípál, 2013).

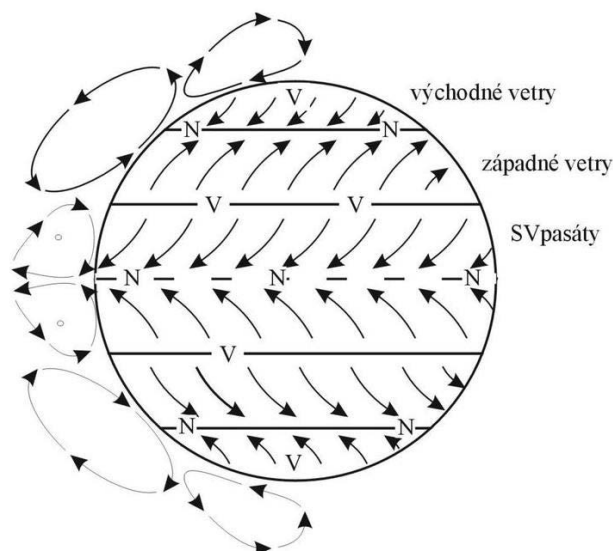
Priamoprúdová vodná turbína – Ide o vrtuľovú vodnú turbínu vychádzajúcu z konštrukcie Kaplanovej turbíny. V anglickej literatúre je označovaná ako „Bulb Turbine“, (obr. 7.11), (Šípál, 2013).



Obr. 7.11 Priamoprúdová vodná turbína (Šípál, 2013).

8. VETERNÁ ENERGIA

Vietor vzniká vplyvom nerovnomerného ohrevu zemského povrchu slnečným žiarením. Pri nepravidelnom ohrievaní zemského povrchu slnečným žiarením nastáva prúdenie vzduchu v snahe vyrovnať atmosférický tlak nesúmerne rozložený na povrchu Zeme. Suché časti povrchu sa ohrievajú omnoho rýchlejšie ako plochy vlhké. Od ohriateho povrchu sa ohrieva i príľahlá vrstva vzduchu a teplý vzduch má snahu stúpať dohora, pretože je ľahší ako vzduch studený. Celý deň je silne ovplyvnený rotáciou Zeme a striedaním dňa a noci, takto vznikajú v zemskej atmosfére tlakové rozdiely, tlakové nízke a výšky. Celý dej je silno ovplyvnený rotáciou Zeme a striedaním dňa a noci, čo má za dôsledok vznik tlakových rozdielov v zemskej atmosfére. Vyrovnaním tlakových rozdielov vzniká vietor, ktorý prúdi vždy od tlakovej výšky k tlakovej nízke. Okolo tlakovej nízke na severnej pologuli ide spinálny pohyb proti smeru hodinových ručičiek, pri tlakovej výške v smere hodinových ručičiek. Na južnej pologuli je zmysel rotácie pri tlakovej výške a nízke opačný (obr. 8.1) (Mastný, 2011; Cenka, 2001).



Obr. 8.1 Princíp vzniku vetra (Slideplayer, 2022).

Energiu pohybujúcej sa hmoty vzduchu je možné vyjadriť nasledujúcim vzťahom, kde (v) predstavuje rýchlosť vzduchu a (m) hmotu vzduchu:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad [\text{J}] \quad (8.1)$$

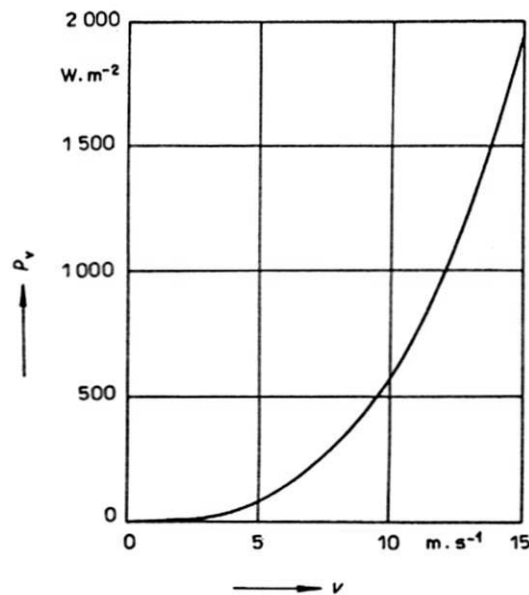
Pre hmotu (m) platí nasledujúci vzťah:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad [\text{kg}], \quad (8.2)$$

kde ρ – je hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], V – je objem vzduchu [m^3], A – je plocha cez ktorú preteká daný objem vzduchu [m^2], s – je dráha ktorú prejde pohybujúci sa vzduch [m].

Z vyššie uvedených vzťahov je možné veľmi jednoducho odvodiť vzťah pre výkon vetra pretekajúceho jednotkovou plochou. Z výsledného vzťahu (8.2) vyplýva, že výkon

vetra pretekajúci jednotkovou plochou je priamo úmerný hustote vzduchu a tretej mocnine rýchlosti vetra. Na obr. 8.2 je znázornená závislosť výkonu vetra (P_v) pretekajúceho jednotkovou plochou 1 m^2 na rýchlosti vetra.



Obr. 8.2 Závislosť výkonu vetra pretekajúceho plochou 1 m^2 na jeho rýchlosti (Mastný, 2011).

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 \quad [\text{W}] \quad (8.3)$$

$$\frac{s}{t} = v \quad [\text{m.s}^{-1}] \quad (8.4)$$

Dosadením vzťahu (8.4) do vzťahu (8.3) sa získa výsledný vzťah pre výkon vetra:

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (8.5)$$

Rýchlosť vetra aj výkon vetra sú časovo premenené veličiny. S ohľadom na túto skutočnosť je možné pre energiu vetra pretekajúceho jednotkovou plochou za dané obdobie vyjadriť nasledujúcim vzťahom:

$$E_v = \int_{t_0}^t P_v \cdot dt \quad [\text{J}] \quad (8.6)$$

V prípade, že v danom časovom intervale je teplota a hustota vzduchu konštantná, je možné vzťah upraviť do nasledujúceho tvaru:

$$E_v = \frac{\rho}{2} \int_{t_0}^t v^3 \cdot dt \quad [\text{J}] \quad (8.7)$$

Rýchlosť vetra je ovplyvňovaná členitosťou zemského povrchu a platí, že smerom k nemu klesá. V rovinnom teréne pre rýchlosť vetra platí:

$$\frac{v^*}{v_0^*} = \left(\frac{h}{h_0}\right)^n \quad [-], \quad (8.8)$$

kde v^* – je priemerná rýchlosť vetra vo výške h nad zemským povrchom [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], v_0^* – je priemerná rýchlosť vetra vo výške h_0 [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$], n – je drsnosť povrchu [-], (Tabuľka 8.1).

Tabuľka 8.1 Drsnosti podľa typu povrchu (Mastný, 2011).

Typ povrchu	n [-]
a – hladký povrch (vodná hladina, piesok)	0,14
b – lúka s nízkym trávnatým porastom, ornica	0,16
c – vysoká tráva, nízke obilniny	0,18
d – vysoké poľnohospodárske plodiny	0,21
e – lesy	0,28
f – obce a malé mestá	0,48

8.1. Faktory vplyvajúce na veternú energiu

Jednou z možností využitia veternej energie je priama premena kinetickej energie prúdiacich hmôt vzduchu v rotačných veterných turbínach.

Hlavnými faktormi pri určovaní veterno-energetického potenciálu sú:

- Smer vetra.
- Rýchlosť vetra.
- Drsnosť povrchu.

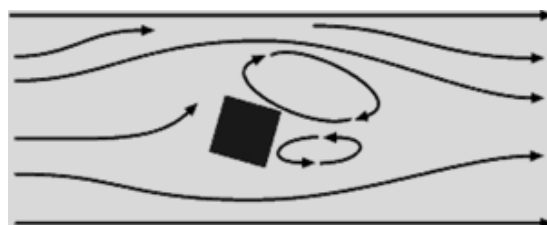
Smer vetra je náhodný jav. Najviac je ovplyvnený členitosťou zemského povrchu. V určitých lokalitách je možné odhadnúť prevládajúci smer vetra, napríklad na území Strednej Európy je dominantné prúdenie vzduchu zo severozápadu až západu. Napriek zložitému reliéfu aj na území Slovenskej republiky sú oblasti s určitými prevládajúcimi smermi vetra. V Podunajskej nížine je severozápadné prúdenie, naopak na Záhorí dominuje juhovýchodný vietor a na území Východného Slovenska, Považia a Ponitria prevláda severné prúdenie.

Pri výrobe elektrickej energie je rýchlosť vetra najpodstatnejší parameter, keďže výkon vetra rastie s treťou mocninou jeho rýchlosti. Pri zdvojnásobení rýchlosti vetra vzrastie jeho výkon osemkrát. Priemerné rýchlosti vetra sa merajú vo výške 10 m nad zemským povrchom. V tabuľke 8.2 sú popísané triedy drsnosti v závislosti od typu terénu a v tabuľke 8.3 sú popísané lokality rozdelené podľa rýchlosti vetra (Atlasoze, 2021).

Zemský povrch (terén) so svojou vegetáciou a budovami je dôležitým faktorom ovplyvňujúcim rýchlosť vetra. So zvyšujúcou sa výškou nad terénom sa drsnosť znižuje a prúdenie vzduchu sa stáva laminárne, čo znamená aj vyššiu rýchlosť vetra. Vysoko nad zemou (vo výške okolo jedného kilometra) rýchlosť vetra prakticky nie je ovplyvňovaná terénom. Naproti tomu v nižších výškach je ovplyvňovaná veľmi silno. Pre využívanie veternej energie je podstatné, že čím je drsnosť terénu vyššia, tým je vietor viac spomaľovaný. Rýchlosť vetra je najviac spomaľovaná lesmi a veľkými mestami, kým na rovinách alebo vodných plochách prakticky nie je ovplyvňovaná. Budovy, lesy a iné prekážky nielen spomaľujú rýchlosť vetra, ale často vytvárajú aj jeho turbulencie, ktoré nepriaznivo vplyvajú na chod turbíny. Pri určovaní charakteru terénu je často jeho drsnosť rozdeľovaná do tried. Čím vyššia je trieda drsnosti, tým väčšie sú prekážky a tým väčšie spomalenie rýchlosti vetra (Inforse, 2021 a).

Vzdialenosť medzi prekážkami v teréne a turbínou je veľmi dôležitá vzhľadom na vytvorenie závetria, ktoré ovplyvňuje výrobu energie (obr. 8.3). Vo všeobecnosti sa tienenie znižuje, keď sa zväčšuje vzdialenosť medzi prekážkou a turbínou. Aj na otvorenom mori dochádza k ovplyvňovaniu rýchlosti vetra, a to až do vzdialenosti 20 km od prekážok, ktorým môže byť napríklad ostrov. Vo všeobecnosti platí, že ak je turbína umiestnená bližšie ako je 5-násobok výšky prekážky, je výsledná situácia veľmi neistá a závisí od presnej geometrie prekážky.

Drsnosť terénu medzi prekážkou a turbínou má tiež vplyv na tieniaci efekt. Terén s nízkou drsnosťou dovoľuje vetru prechádzať okolo prekážok bez toho, aby dochádzalo k jeho ovplyvňovaniu za prekážkou.



Obr. 8.3 Prúdenie vetra okolo prekážky (Inforse, 2021 a).

Tabuľka 8.2 Trieda drsnosti v závislosti od typu terénu (Inforse, 2021 a).

Trieda drsnosti	Typ terénu
0	Vodná plocha.
0,5	Úplne otvorený terén s hladkým povrchom (ako napríklad na letiskách).
1	Otvorená poľnohospodárska plocha bez plotov s veľmi riedko rozostavanými malými budovami, mierne a zaoblené kopce.
1,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 1 250 metrov.
2	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 500 metrov.

Pokračovanie tabuľky 8.2 Trieda drsnosti v závislosti od typu terénu (Inforse, 2021 a).

Trieda drsnosti	Typ terénu
2,5	Poľnohospodárske plochy s niekoľkými domami do výšky 8 metrov a vzdialenosťou medzi nimi asi 250 metrov.
3	Dediny, malé mestá, poľnohospodárske plochy s viacerými vyššími budovami, lesy a veľmi nerovný terén.
3,5	Veľké mestá.
4	Veľmi veľké mestá s vysokými budovami.

Tabuľka 8.3 Rýchlosť vetra (Atlasoze, 2021).

Typ lokality	Priemerná rýchlosť vetra [m.s ⁻¹]	Výroba energie [kWh.m ⁻²]
Slabá	5,5	330 – 420
Prijateľná	6,5	550 – 690
Dobrá	7,5	850 – 1 050
Veľmi dobrá	8,5	1 200 – 1 540

8.2. Veterné turbíny

Veterné turbíny sú zariadenia, ktoré sa používajú na premenu kinetickej energie vetra na mechanickú energiu. Vo veterných elektrárňach sa najprv kinetická energia vetra premieňa na mechanickú energiu, ktorá je následne transformovaná na elektrickú energiu. Rozdelenie veterných turbín môže byť vykonané podľa rôznych hľadísk, ale základné delenie je vykonané podľa aerodynamického princípu funkcie veterného motora, a to na:

- Motory odporové.
- Motory vztlakové.

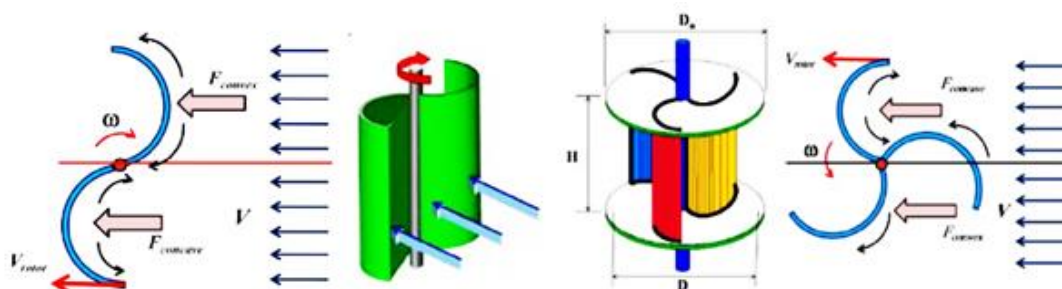
8.2.1. Odporové motory

Z hľadiska využitia patria odporové veterné motory medzi najstaršie. Podstatou týchto motorov je skutočnosť, že plocha nastavená proti vetru mu vytvára aerodynamický odpor. Tým sa na tejto ploche vytvára sila, ktorá sa mechanicky premieňa na rotačný pohyb. Aby mohol pri tomto type veterného motora vzniknúť hnací krútiaci moment, musí byť obvodová rýchlosť vždy menšia ako rýchlosť vetra. Bez odberu energie z hriadeľa sú otáčky úmerné rýchlosti vetra a pri zdvojnásobení rýchlosti vetra sa aj otáčky zvýšia dvojnásobne. Veterné motory pracujúce na odporovom princípe pracujú s účinnosťou v rozmedzí 15 – 23 %, čo je dôvodom ich nízkeho výskytu v modernej energetickej koncepcii. Medzi klasických predstaviteľov tohto typu veterného motora patrí napríklad Savoniov motor. Savoniov motor je v základnom prevedení zostavený z dvoch zvislých lopatiek, ktoré sú uprostred približne o 20 % priemeru rotora predsadené do protismeru.

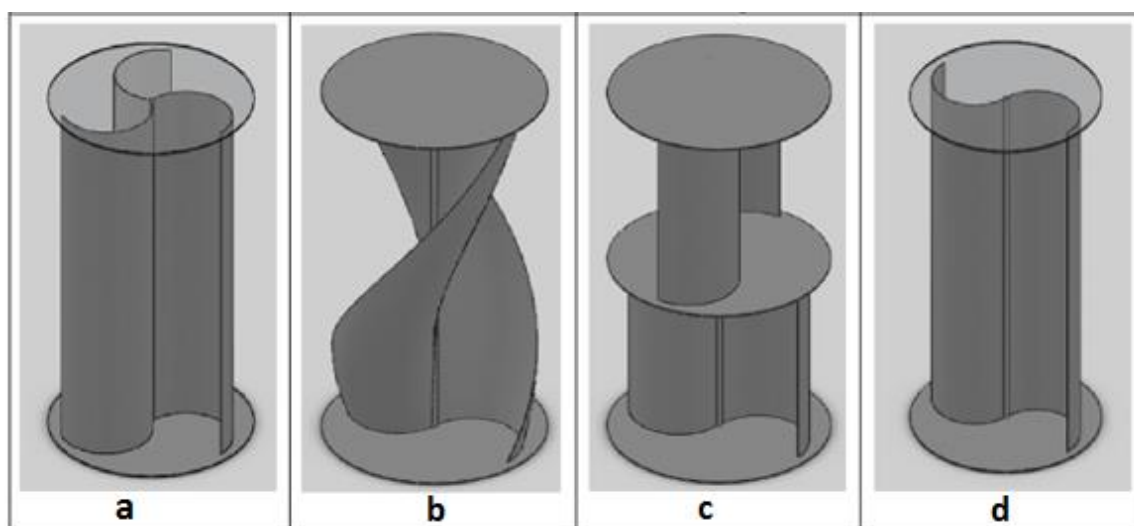
V tejto konfigurácii je časť energie vetra zo zadnej strany „pasívnej“ lopatky smerovaná na prednú stranu „aktívnej“ lopatky (Mastný, a kol. 2011).

Veterné turbíny Savonius sa otáčajú relatívne pomaly, vytvárajú vysoký krútiaci moment. Štartovacia rýchlosť vetra je veľmi nízka, často sú využívané ako „štartovací motor“ pre turbínu Darrieus (Badurek, 2017).

Savoniusova turbína sa často používa na čerpanie vody pre zásobovanie domácností, pastvín, k cirkulácii vody v bazénoch, atď. Väčšie zariadenia môžu byť použité aj na ohrev vody cez vírovú brzdu. Obzvlášť zaujímavé je ich využitie pre pohon tepelných čerpadiel, ak sa podarí vyvinúť prístroje pre variabilný počet otáčok. Za veľmi priaznivých poveternostných podmienok a s použitím špeciálneho generátora je možné vyrábať elektrický jednosmerný prúd pre nabíjanie batérií k napájaniu malej nízko voltovej siete. Týmto spôsobom sa dajú napájať prúdové lovecké a horské chaty, salaše, záhradné domy, nepravidelne obývané miesta. Princíp Savoniusovej turbíny (obr. 8.4) je žiaľ nevhodný pre stavbu veľkých veterných elektrární (Schulz, 2005). Na obr. 8.5 a obr. 8.6 sú znázornené typy a aplikácie Savoniusovej turbíny.



Obr. 8.4 Schéma a princíp Savoniusovej turbíny (Khandagale, 2017).



Obr. 8.5 Typy Savoniusovej turbíny

a) trojlopatkový rotor; b) špirálový rotor; c) dvojestupňový rotor; d) dvojlopatkový rotor (Díaz, 2015).



Obr. 8.6 Aplikácie Savoniusovej turbíny
(Archiexpo, 2022; Link.springer, 2022; Nationalgeographic, 2022).

Výhody Savoniusovej turbíny:

- Jednoduchá stavba z ľahko dostupných materiálov.
- Nezávislosť na smere vetra, nie je potrebné natáčanie do smeru vetra.
- Priame predávanie sily na zvislý hriadeľ, ktorý môže viesť až k zemi a tam striedavo, alebo priamo, poháňať rôzne zariadenia. Pomocou jedného rotora tak je možné pri slabom vetre čerpať vodu a pri vysokej rýchlosti vetra zároveň vyrábať elektrický jednosmerný prúd.
- Využíva široké pásmo sily vetra, na rozdiel od mnohých iných veterných turbín, ktoré sú optimalizované na určitú rýchlosť vetra. Správne skonštruovaná Savoniusova turbína dokáže využiť vietor s extrémne nízkou rýchlosťou (2 až 3 m.s⁻¹), ale aj so strednou (4 až 10 m.s⁻¹) a vysokou (15 až 25 m.s⁻¹). Prítom stále platí zákon, že otáčky a výkon s narastajúcou rýchlosťou vetra stúpajú. Počet otáčok sa zvyšuje lineárne, zatiaľ čo výkon narastá s tretou mocninou rýchlosti vetra.
- Savoniusove turbíny sa môžu spojiť do väčšieho zariadenia s relatívne vysokými otáčkami. Zatiaľ čo pri veternej turbíne s horizontálnou osou (HAWT – Horizontal Axis Wind Turbine) zväčšenie priemeru vrtule spôsobí značné zníženie otáčok a často aj problémy s prevodmi. Savoniusova turbína ponúka možnosť zväčšiť plochu turbíny a tým aj výkon bez toho aby nastal výrazný pokles otáčok. Na tento účel môžu byť spojené vertikálne alebo horizontálne.
- Vysoká odolnosť voči búrkam pri správnom prevedení. Savoniusove turbíny majú zníženú citlivosť voči vírom a turbulenciám.

Nevýhody Savoniusovej turbíny:

- Neobvyklý, mohutný vzhľad. HAWT s malým počtom úzkych lopatiek nepôsobia v nečinnom stave tak robustne. Za to však v menej veterných oblastiach sa HAWT väčšinou zastavia skôr, zatiaľ čo Savoniusova turbína sa kvôli svojej väčšej pracovnej ploche naďalej otáča.
- Vysoká hmotnosť rotora, ktorá vďaka použitiu lacných materiálov

neznamená vysoké náklady, ale vyžaduje presné vyváženie, aby sa zabránilo kritickému kmitaniu pri vysokých otáčkach. Vysoká hmotnosť, hlavne pri poryvoch vetra, je zároveň aj prednosťou. Pomáha stabilizovať otáčky a pri správnej konštrukcii rotora zvyšuje jeho odolnosť voči búrkam.

- Malá rýchlobežnosť, to znamená relatívne nízke otáčky a vysoké točivé momenty. Vďaka tomu je možné priamo poháňať vodné čerpadlá, pri generátoroch je potrebné použiť pre transformáciu energie prevody ozubenými kolesami, reťazami alebo klinovými remeňmi.
- Relatívne nízky súčiniteľ využitia energie vetra. Moderné lopatkové turbíny dosahujú vyšších hodnôt, ale len za určitej rýchlosti vetra. V praktickom chode Savoniusova turbína túto nevýhodu vyrovnáva, pretože je schopná výkonovo použiť širšie pásmo sily vetra (Schulz, 2005).

8.2.2. Vztlakové motory

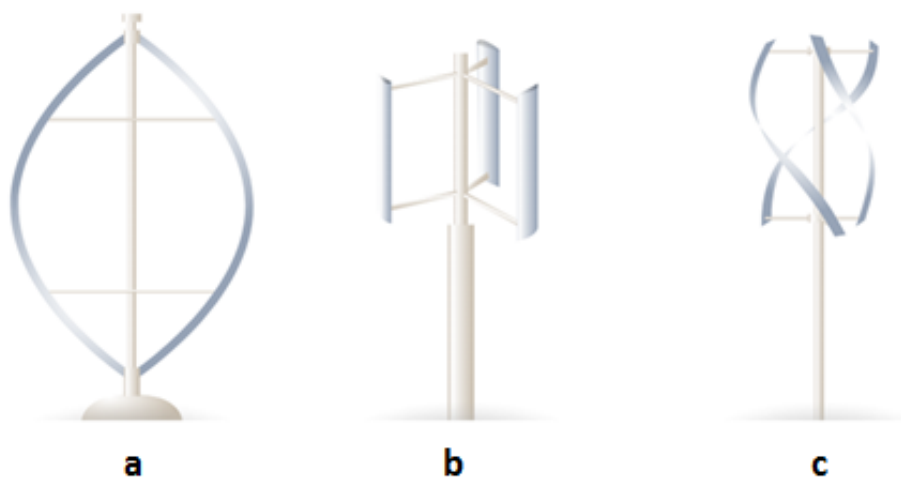
Medzi veterné motory pracujúce na vztlakovom princípe patria rotory a veterné kolesá s vodorovnou osou otáčania, ktoré sú orientované rovinou otáčania kolmo na smer vetra. Najčastejšie sú vztlakové rýchlobežné motory konštruované ako dvoj alebo trojlisté, ale je možné sa stretnúť aj s jednolistým alebo štvorlistým prevedením. Rýchlobežné axiálne motory boli v posledných rokoch neustále zdokonaľované a ich súčasná technická úroveň umožňuje dosiahnutie vysokého súčiniteľa využitia (účinnosť) a to cez 40 %. Obvodová rýchlosť koncov lopatiek môže pri tomto type motora dosahovať dvoj až desaťnásobok rýchlosti vetra. Výhodou rýchlobežných veterných motorov je ich relatívne nízka hmotnosť. Naopak za určitú nevýhodu možno pri tomto type prevedenia považovať zhoršený rozbeh pri nízkych rýchlostiach vetra. Zvyčajná rozbehová rýchlosť vetra je pri týchto motoroch okolo $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tieto motory sú veľmi vhodné na výrobu elektrickej energie (Mastný, a kol. 2011).

Na vztlakovom princípe pracujú aj veterné motory s vertikálnou osou. Príkladom takého motora je Darrieusov rotor, ktorý sa skladá z dvoch a viac krídel rotujúcich okolo vertikálnej osi vytvárajúcich guľovú, valcovú alebo parabolickú plochu. Princíp Darrieusovho motora je znázornený na obr. 8.7. Patrí medzi rýchlobežné motory – obvodová rýchlosť listov rotora je niekoľkonásobne vyššia ako rýchlosť vetra. Listy rotora sú dlhé, zaoblené a pripevnené k veži na oboch koncoch – hore aj dole. To kladie vysoké nároky na materiál listov a ich uchytanie, pretože na nich pôsobí veľká odstredivá sila. Typy Darrieusovho rotora sú znázornené na obr. 8.8. Výhodou Darrieusových vertikálnych turbín je ich ľahká údržba, všetky mechanizmy sa nachádzajú nízko nad zemou. Nepotrebný mechanizmus natáčania do smeru vetra, turbíny sú na smere vetra nezávislé. Majú vysokú účinnosť, možnosť umiestnenia generátora do spodnej časti stožiaru a jednoduchú konštrukciu. Nevýhodou je zlá schopnosť rozbehu rotora. Na primárne roztočenie rotora je potrebný vonkajší zdroj. K ďalším nevýhodám patrí aj ich horšia ovládateľnosť, veľké odstredivé sily pôsobiace na rotor a pulzujúci výkonový cyklus vedúci k rezonanciám. Kvôli tomu sú tieto turbíny dynamicky namáhané viac, ako turbíny s horizontálnou osou, čo znižuje ich životnosť (Manwell, 2009). Na obr. 8.9 sú znázornené aplikácie Darrieusovej turbíny.

Veterné turbíny sa môžu ďalej deliť podľa uloženia osi rotácie (horizontálne a vertikálne), podľa inštalovaného výkonu a podľa rýchlostného súčiniteľa na pomalobežné a rýchlobežné.



Obr.8.7 Schéma a princíp Darrieusovej turbíny (Svetenergie, 2021).



Obr. 8.8 Typy Darrieusovej turbíny

a) klasická; b) v tvare písmena H; c) Gorlova skrutkovica (Svetenergie, 2021).



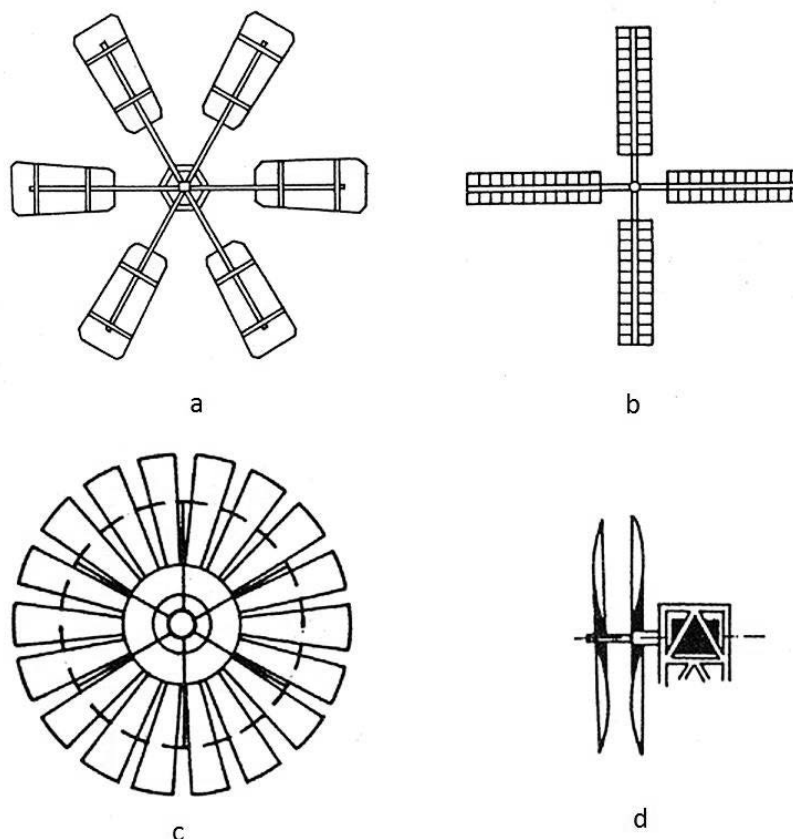
Obr. 8.9 Aplikácie Darrieusovej turbíny

(Sciencedirect, 2022; News.cision, 2022; Researchgate, 2022).

8.2.3. Veterné turbíny s horizontálnou osou

Veterné turbíny s horizontálnou osou sú najbežnejšie používaným typom. Každá turbína má dve, tri lopatky alebo disk obsahujúci viacero lopatiek. Sú charakterizované ako zariadenia buď s vysokou alebo s nízkou pevnosťou, v ktorých sa pevnosť vzťahuje na percentuálny podiel priestoru, ktorý obsahuje pevný materiál.

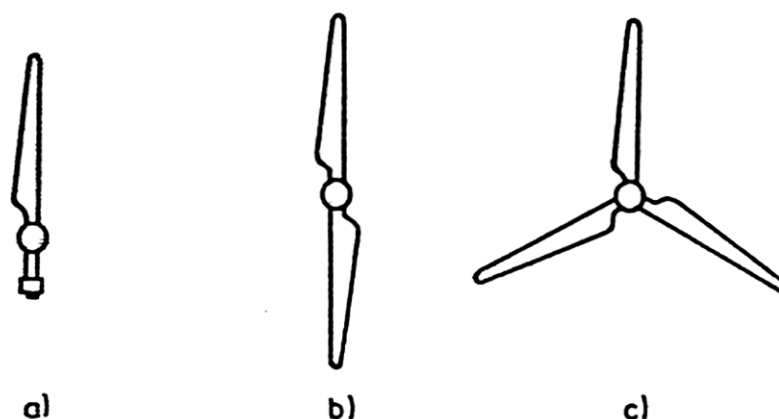
Turbíny s vysokou pevnosťou (obr. 8.10) zahŕňajú viacbodové typy, ktoré pokrývajú celú plochu lopatkami, aby sa maximalizovalo celkové množstvo vetra prichádzajúceho do kontaktu s nožmi. Príkladom takejto turbíny je viac lopatková turbína používaná na čerpanie vody na farmách, často viditeľná v krajinách na západe Ameriky. Snaha o zúžitkovanie energie vetra čo najúčinnejšie znamená, že listy rotora musia čo najviac zachytávať prúdiaci vzduch. Rotor s veľkým počtom listov pokrýva celú plochu zabranú rotorom pri veľmi malých otáčkach, kým rotor s menším počtom listov sa musí otáčať rýchlejšie, aby pokryl celú plochu. Teoreticky, čím viac by mal rotor listov, tým by mal byť účinnejší. V skutočnosti sa však listy rotora vzájomne ovplyvňujú a veľký počet listov spomaľuje otáčky. Na druhej strane však väčší počet listov dáva vyšší počiatkový moment krútenia, čo využívajú malé agregáty štartujúce už pri nízkych rýchlostiach vetra.



Obr. 8.10 Veterná turbína s horizontálnou osou

a) veterného čerpadla so šiestimi plechovými lopatkami; b) veterného mlynu; c) vodného čerpadla s väčším počtom lopatiek; d) veternej elektrárne s proti bežným usporiadaním (Mastný, 2011).

Turbíny s nízkou pevnosťou (obr. 8.11) najčastejšie používajú dve alebo tri dlhé čepele, sú podobné lietadlovým vrtuliam. Majú nízky podiel materiálu, čo je kompenzované rýchlejšou rýchlosťou otáčania, ktorá sa používa na vyplnenie tejto plochy. Tieto turbíny sú najčastejšie používané, ako aj najčastejšie zastúpené v oblasti výroby elektrickej energie z veternej energie. Ponúkajú najväčšiu účinnosť pri výrobe elektrickej energie a preto patria medzi najlacnejšie v rámci technológií na využívanie energie obnoviteľných zdrojov (Badurek, 2017).



Obr. 8.11 Veterná turbína s horizontálnou osou
a) jednolistová s protizávažím; b) dvojlístová; c) trojlístová (Mastný, 2011).

8.2.4. Veterné turbíny s vertikálnou osou

Veterné turbíny s vertikálnou osou dokážu vyrábať energiu bez ohľadu na smer vetra, zvyčajne sa vyrábajú s lopatkami okolo vertikálnej osi. VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) dokážu pracovať na vztlaku alebo tlaku vetra. Napriek nezávislosti na smere vetra nedokážu veterné turbíny s vertikálnou osou hospodársky konkurovať veterným turbínam s horizontálnou osou. Stále pokračuje záujem o výskum a vývoj tohto typu turbín, najmä pre budovanie integrovaných systémov veternej energie (Badurek, 2017).

8.2.5. Konštrukcia veternej turbíny

Keďže veterná turbína vyrába energiu z vetra, musí mať vietor za turbínou menšiu energiu ako pred turbínou. Táto skutočnosť priamo vyplýva z pravidla, že energia sa nemôže ani vytvárať ani spotrebovať – môže byť len premieňaná z jednej formy na druhú. Veterná turbína bude vždy predstavovať prekážku pre iné turbíny umiestnené za ňou, resp. v jej blízkosti. Za jej chrbtom sa vytvára dlhý prúd turbulентného a spomaleného vetra. Turbíny vo veterných parkoch sú z tohto dôvodu rozmiestňované vo vzdialenosti minimálne trojnásobku priemeru rotora, aby sa vplyv turbulencií obmedzil na minimum. V smere prevládajúceho vetra sú turbíny rozmiestňované v ešte väčších vzdialenostiach. Turbulencie nielen obmedzujú výrobu energie turbínou, ale znamenajú pre ňu aj väčšiu mechanickú záťaž a rýchlejšie opotrebovanie niektorých jej častí.

Pri navrhovaní turbín je bežne potrebné vedieť dve veci: koľko energie potrebuje a aká je priemerná rýchlosť vetra v danom mieste vo výške rotora turbíny. Veterné turbíny

kriticky závisia od polohy a dostatku vetra. Bežne sa veterné turbíny umiestňujú na kopcoch a miestach vyčnievajúcich nad okolitým terénom. Býva výhodné, keď je turbína umiestnená v smere prevládajúcich vetrov s minimom prekážok v jej okolí. Malé veterné turbíny je tiež možné využiť na prípravu teplej vody. Tieto zariadenia dodávajú jednosmerný prúd, ktorý využíva elektrická špirála umiestnená v zásobníku vody. Špirála vodu ohrieva, pričom zásobník tu funguje ako batéria skladujúca energiu (Energiavsvislostiach, 2021).

Veterná turbína sa zvyčajne skladá z týchto komponentov:

- Listy rotora.
- Rotor.
- Prevody.
- Generátor.
- Elektronika a regulačné zariadenie.

Listy rotora zachytávajú energiu vetra. Ich tvar je výsledkom dlhého experimentovania a výskumov a umožňuje efektívne prenášať silu vetra na rotor. Listy sa vyrábajú z laminátov, polyesterov alebo iných plastických materiálov. Niektoré majú drevenú os. Vhodná kombinácia týchto materiálov dodáva listom veľkú pevnosť a pružnosť. Pri turbínach dosahuje priemer listov rotora 25 – 50 metrov a každý list môže vážiť aj jednu tonu. Väčšina turbín má 3 listy.

Rotor veternej turbíny „zachytáva“ energiu vzduchu, ktorý naň dopadá. Je zrejmé, že čím je plocha rotora väčšia, tým viac energie je schopný vyrobiť. Nakoľko plocha zabraná rotorom narastá s druhou mocninou priemeru rotora je dvakrát väčšia turbína schopná vyrobiť štyri krát viac energie. Narastajúci priemer vrtule má za následok väčší tlak na celý systém pri danej rýchlosti vetra. Aby mohla turbína tento tlak vydržať je potrebné použiť pevnejšie mechanické časti, čo celý systém predražuje.

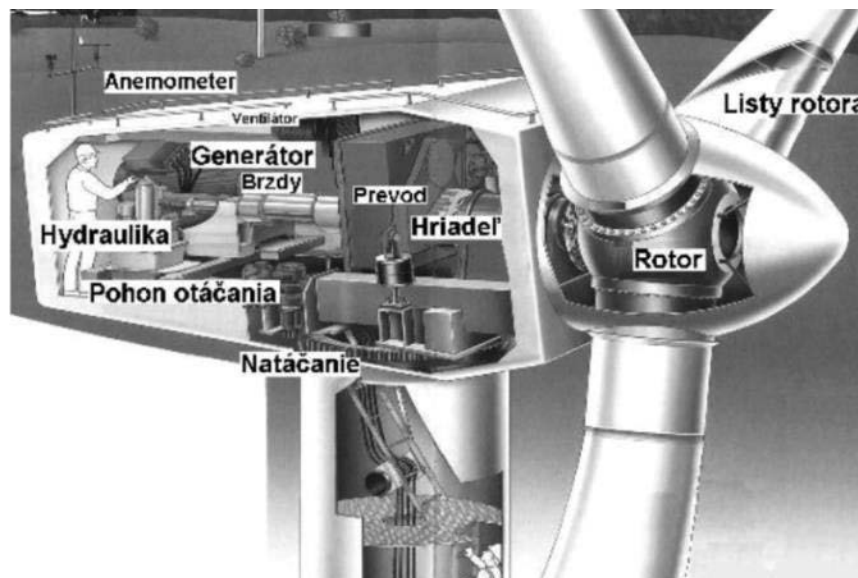
Rotor tvoria listy a hlavná os, ku ktorej sú pripevnené. Os je pripojená na hlavný prevod systému. Veľké turbíny majú rotor najčastejšie s tromi listami umiestnenými na vrchu stožiaru, ale počet listov môže byť rôzny. (Listy rotora musia čo najviac zachytávať prúdiaci vzduch. Rotor s veľkým počtom listov pokrýva celú plochu zabranú rotorom aj pri malých otáčkach, kým rotor s menším počtom listov sa musí otáčať rýchlejšie, aby pokryl celú plochu. Teoreticky čím viac má rotor listov, tým by mal byť účinnejší. V skutočnosti sa však listy rotora vzájomne ovplyvňujú a veľký počet listov spomaľuje otáčky. Na druhej strane však väčší počet listov dáva vyšší počiatočný moment krútenia, čo využívajú malé agregáty štartujúce už pri malých rýchlostiach vetra).

Prevody a ložiská sú dôležité z pohľadu účinného prenosu krútiaceho momentu na generátor elektrického prúdu. Veterný generátor má podobnú konštrukciu ako generátor v tradičnej elektrárni na fosílnu palivú. Činnosť jednotlivých komponentov v turbíne je regulovaná elektronicky a môže byť riadená aj diaľkovo. Úlohou regulácie je udržať rovnaké napätie pri meniacich sa otáčkach generátora (Energoportal, 2022).

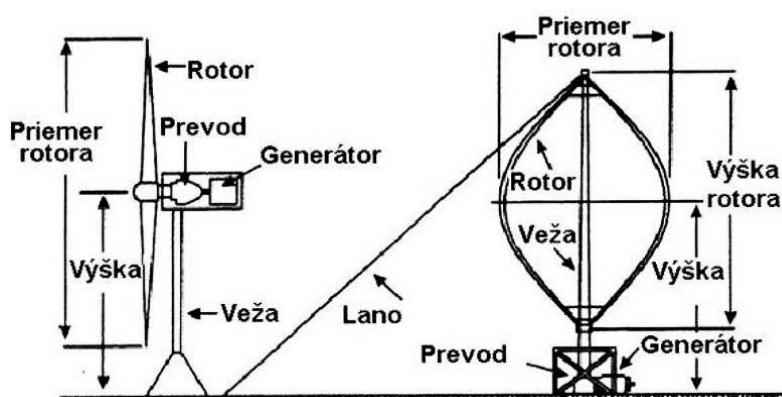
Niektoré turbíny sú konštruované tak, že sa natáčajú do smeru vetra. Obidva typy (natáčavé i nenatáčavé) majú však niekoľko výhod i nevýhod. Lepšie využitie sily vetra

pri natáčavých turbínach si vyžaduje komplikovanejšie ložiská i ďalšie zariadenia, čo v konečnom dôsledku vedie k nižšej spoľahlivosti. Turbíny s pevne fixovaným rotorom sú jednoduchšie a nevyžadujú až takú údržbu ako natáčané systémy. Na druhej strane však výroba energie je o niečo nižšia ako v porovnateľnej natáčavej turbíne. Pri veterných elektrárňach s vertikálnou pracovnou osou otáčania kombináciou spomínaných dvoch typov turbín je možné vytvoriť efektívny typ veterného rotora, kde Savoniusov rotor zabezpečuje jednoduchý rozbeh aj pri nízkych rýchlostiach vetra a pri dosiahnutí vyšších otáčok nastupuje Darrieusov rotor s omnoho vyššou účinnosťou (Inforse, 2021 a). Na obr. 8.12 je znázornený prierez veterným agregátom.

Napriek rozdielnej konštrukcii turbín s horizontálnou a vertikálnou osou je ich mechanika prakticky rovnaká. Rýchlosť otáčania listov je prenášaná na generátor pomocou prevodov. Prevody sú potrebné na to, aby bolo možné účinne využiť meniacu sa rýchlosť vetra. V súčasnosti však prebieha vývoj turbín bez prevodov, čo by znamenalo zníženie nárokov na ich konštrukciu i cenu. Na obr. 8.13 sú konštrukcie veternej turbíny s horizontálnou a vertikálnou osou.



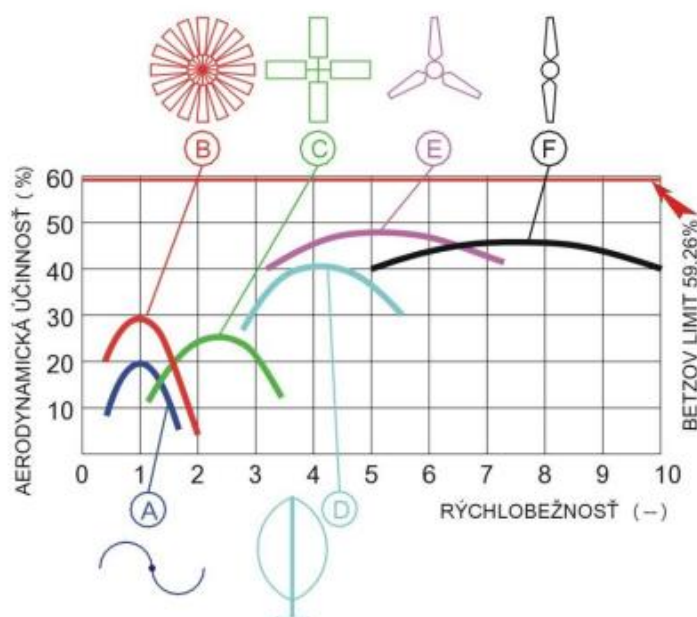
Obr. 8.12 Prierez veterným agregátom (Inforse, 2021 a).



Obr. 8.13 Konštrukcie turbín: vľavo turbína s horizontálnou osou a vpravo turbína s vertikálnou osou (Inforse, 2021 a).

8.2.6. Účinnosť veterných turbín

Na obr. 8.14 je znázornený graf účinnosti veterných turbín. Z grafu vyplýva, že čím je koeficient rýchlobežnosti menší, tým percentuálne väčšia plocha musí byť pokrytá rotorovými listami. Dvojlistá vrtuľa dosahuje väčšiu rýchlobežnosť, trojlistá vrtuľa je naopak výhodnejšia vzhľadom na menšie namáhanie od gyroskopických momentov. Teoreticky maximálne dosiahnuteľnú účinnosť veternej turbíny definoval vo svojej teórii Albert Betz v roku 1920 na 59,6 %. Reálne účinnosti veterných elektrární sú samozrejme nižšie, čo je ovplyvnené konštrukčným riešením stroja, stratami na trení, nastavením uhla lopatiek, atď. (Ragheb, 2011).



Obr. 8.14 Graf účinnosti veterných turbín (Ježik, 2011).

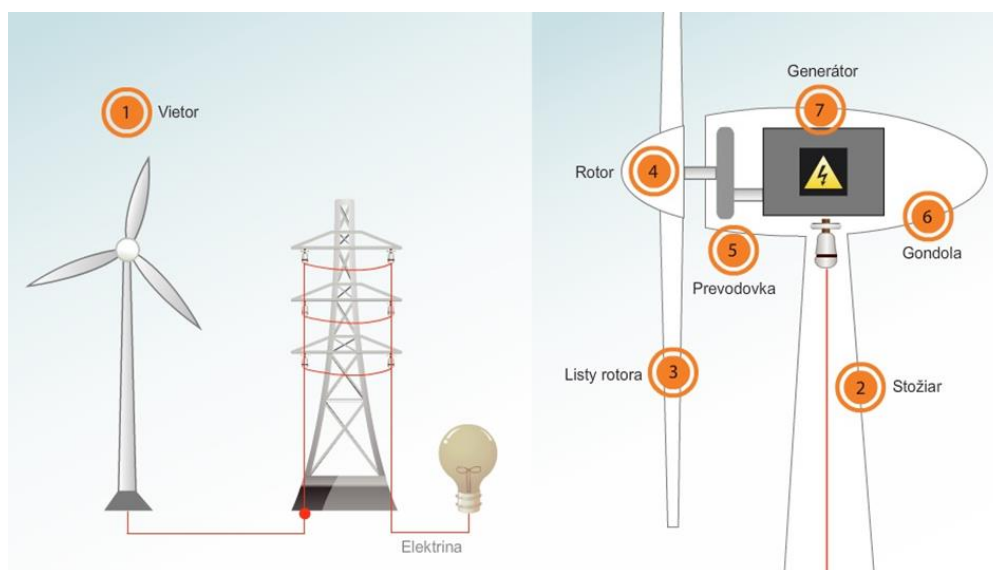
8.3. Využitie veternej energie

Vietor sa oddávna používa ako zdroj energie. V minulosti bol využívaný napríklad pri veterných mlynoch na mletie obilia, či prečerpávanie vody alebo na pohon lodí pri plachetniciach. Dnes vietor pomocou zariadení (veterných turbín) dokáže vyrábať elektrickú energiu. Veterné elektrárne využívajú energiu prúdenia vzduchu na výrobu elektriny. Viac veterných turbín v spoločnej lokalite vytvára veterný park, resp. veternú farmu. Vhodnými miestami na využitie veternej energie sú také územia, kde je priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške merania 60 metrov minimálne $6,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vhodné oblasti na inštalovanie veterných elektrární ležia v horských oblastiach a na nížinách. Na obr. 8.15 je znázornená schéma princípu využitia energie z vetra.

Princíp využitia energie z vetra:

- 1) Vietor – Vietor (energia vzduchu) naráža na listy rotora.
- 2) Stožiar (Veža) – Vrtuľa s generátorom sú upevnené na stožiaroch (niekedy nazývanom aj veža). Stožiar je vyrobený z ocele alebo betónu. Výška stožiaru môže byť až 120 metrov.

- 3) Listy rotora – Sila vetra roztočí listy rotora. Listy sú tvarované tak, aby vznikla potrebná vztlaková sila uvádzajúca rotor do pohybu. Listy rotora sú schopné sa natáčať podľa toho, akým smerom fúka vietor, aby zachytávanie jeho energie bolo čo najúčinnnejšie. Majú väčšinou dĺžku od 25 do 50 metrov.
- 4) Rotor (vrtuľa) – Rotor tvoria listy rotora uchytené v náboji. Je to časť veternej elektrárne, ktorá sa roztáča. Pri rotore je zabezpečené, aby sa natáčal oproti vetru aj počas zmien smeru vetra. Pri víchrici rotor zastavia brzdy, ináč by došlo k zničeniu zariadenia. Kinetická energia, ktorá vznikne v rotore, je ďalej prenášaná na prevodovku a do generátora.
- 5) Prevodovka – Je zariadenie, ktoré umožňuje optimálne otáčky generátora. Prevodovka je hriadeľom spojená s generátorom. Niektoré veterne elektrárne fungujú bez prevodovky, a to hlavne kvôli zníženiu hlučnosti elektrárne.
- 6) Gondola – Gondola je strojovňou veternej turbíny. Má schopnosť spolu s rotorom sa natáčať v smere, ktorým prúdi vietor. Vďaka tomu listy rotora zachytia vždy najväčšiu energiu vzduchu.
- 7) Generátor – V generátore sa kinetická energia transformuje na elektrickú energiu, ktorá je vedená do podzemného kábla a ďalej dodávaná cez elektrické vedenie do elektrickej siete. Existujú tri základné typy generátorov – jednosmerný, synchronný a asynchronný (Platforma, 2022).



Obr. 8.15 Princíp využitia energie z vetra (Platforma, 2022).

Medzi výhody využitia veternej energie patrí:

- Vietor je obnoviteľný zdroj energie.
- Veterná elektráreň pri svojej prevádzke neprodukuje žiadne emisie.
- Pri budovaní veternej turbíny sa zastáva minimálna plocha, po skončení jej prevádzky sa dá ľahko rozobrať bez stôp v krajine.
- Energetická náročnosť vybudovania elektrárne je v porovnaní s inými technológiami veľmi nízka, najmä ak sú turbíny vyrobené priamo v krajine, kde sú inštalované.

Medzi nevýhody využitia veternej energie patrí:

- Veterná energia má malú koncentráciu – treba výstavbu viacerých turbín.
- Výkon turbíny je ovplyvnený intenzitou vetra.
- Elektrárne vplyvajú na okolitú krajinu – vtáctvo, netopiere, rastliny tým, že narúšajú ich prirodzené biotopy, napríklad zasahujú do oblastí, cez ktoré migrujú vtáky.
- Na výrobu turbíny sa spotrebuje veľké množstvo materiálu.

Vplyvy veternej elektrárne na okolie:

- Narušenie scenérie krajiny a oblasti s hodnotným obrazom krajiny.
- Hlukové emisie – hluk mechanický, hluk aerodynamický (od 20 do 50 Hz a infrazvuk po 20 Hz).
- Optické emisie (emisie svetla – stroboskopický efekt, emisie tieňa).
- Vplyv na faunu vrátane možného ohrozenia migrujúceho vtáctva.
- Vplyv na flóru (počas výstavby, počas prevádzky – tienenie).
- Záber pôdy.
- Vplyv na šírenie rádiového a televízneho signálu.

Bežne sa veterné turbíny umiestňujú na kopcoch a miestach vyčnievajúcich nad okolitým terénom. Býva výhodné, keď je turbína umiestnená v smere prevládajúcich vetrov s minimom prekážok v jej okolí. Na kopcoch je síce rýchlosť vetra najvyššia, avšak často tu dochádza k tomu, že vietor sa stáča, kým dosiahne vrchol kopca. Vietor tu tiež býva dosť nepravidelný, keď prechádza turbínou. V prípade strmých kopcov alebo nerovných povrchov môže dochádzať k značným turbulenciám, ktoré môžu znížiť pozitívny efekt z vyššej rýchlosti vetra.

Pri výbere turbíny nie je vhodné porovnávanie na základe ich menovitého výkonu. Súvisí to s tým, že výrobcovia majú možnosť sami si zvoliť rýchlosť vetra, pre ktorú udávajú výkon turbíny. Ak nie sú tieto rýchlosti pre dve turbíny rovnaké, nie je možné ani ich korektné porovnanie. Výrobcovia okrem výkonu turbíny udávajú aj údaj o potenciálnej výrobe energie pri rôznych rýchlostiach vetra. Tieto údaje síce umožňujú vzájomné porovnávanie jednotlivých turbín avšak nehovoria nič o tom, aká bude skutočná výroba energie v danom mieste.

Na trhu je v súčasnosti veľa typov a veľkostí moderných turbín. Najmenšie s výkonom od 100 W sa používajú na čerpanie vody alebo dodávanie elektriny do batérií. Veľké turbíny s výkonom nad 50 kW zvyčajne dodávajú elektrinu do elektrickej siete. Väčšina dnešných turbín má horizontálnu os s tromi listami s priemerom 15 – 50 metrov a ich elektrický výkon sa pohybuje od 50 kW do 1,5 MW. Takéto turbíny sa často stavajú v skupinách a vytvárajú tzv. veterné farmy. Napätie, ktoré turbína generuje, má zvyčajne 690 voltov a pomocou transformátorov sa pred pripojením na distribučnú sieť mení na vysoké napätie (zvyčajne 10 až 30 kV).

Najjednoduchšou cestou, ako zvýšiť výrobu energie turbínou, je zvýšenie rýchlosti vetra. Toto je možné uskutočniť buď umiestnením turbíny na veternejšie miesto

alebo zväčšením výšky stožiaru. Rýchlosť vetra výrazne narastá s pribúdajúcou výškou. Napríklad energia vetra môže byť až o 100 % väčšia vo výške 30 metrov ako vo výške 10 metrov. Podstatné je, že jedna 30 metrov vysoká turbína je lacnejšia ako napríklad dve 10 metrové turbíny. Pravidlom je, že turbíny by mali mať minimálnu výšku asi 10 metrov nad okolitými prekážkami v okruhu 100 metrov. Realistické minimum je asi 15 metrov nad úrovňou prekážok a potom ísť tak vysoko, ako je to možné. Menšie turbíny sa zvyčajne umiestňujú na nižšie stožiare ako veľké turbíny. Napríklad 250 W turbína má zvyčajne stožiar vysoký $15 \div 20$ metrov, kým 10 kW turbína si vyžaduje výšku $20 \div 30$ metrov. Turbína tiež musí mať masívny stožiar aby vydržala turbulencie vetra (Energoportal, 2022).

Mestské prostredie nie je vhodné na prevádzku klasických veterných elektrární. Prúd vzduchu často mení smer a intenzitu, preto môže byť aj v mestách veľmi veterno. Možným riešením pre takéto prostredie je viacsmerová veterná turbína, ktorá umožňuje využiť prúdenie vzduchu v horizontálnom aj vertikálnom smere a to bez využitia prevodovky. Turbína má guľatý tvar s jednou osou rotácie. Na pohyb turbíny je využívaný princíp Bernoulliho rovnice. Pri prúdení vietor vstupuje do turbíny väčším otvorom a vychádza von menším otvorom, čím dochádza k tlakovej zmene, ktorá vedie k roztočeniu turbíny. Takáto turbína zaberá menej miesta a vďaka menšiemu množstvu komponentov je aj menej náročná na pravidelnú údržbu. Kompaktná veľkosť turbíny ju predurčuje k prevádzke napríklad na strechách, či balkónoch domov. Vývoj takýchto turbín stále prebieha (Oenergetice, 2022).

8.4. Veterné elektrárne

V priebehu rokov sa technológia veterných turbín zlepšovala a tak sa postupne stala najspoľahlivejšou a najslubnejšou technológiou obnoviteľných zdrojov. Od 80. rokov 20. storočia sa táto technológia rýchlo vyvíjala, z turbín s výkonom do niekoľko kilowattov na turbíny s výkonom vyšším ako 1 MW. Okrem výkonu sa zmenila ich konštrukcia aj spôsob riadenia.

Na výrobu elektrickej energie sa vo veterných elektrárňach používajú asynchrónne a synchronné generátory. Asynchrónny generátor je v porovnaní so synchronným jednoduchší a finančne menej náročný a z hľadiska prevádzky je spoľahlivejší. Nevýhodou asynchrónneho generátora je malé rozpätie otáčok. Naopak výhodou asynchrónneho generátora je jeho jednoduchý rozbeh, pripojenie na sieť a regulácia výkonu. Synchronný generátor môže byť prevádzkovaný iba pri synchronných otáčkach veternej turbíny. Aby bolo možné synchronný generátor prevádzkovať v širšom rozmedzí otáčok, je potrebné vyrobenú elektrickú energiu usmerniť a následne opäť s využitím meniča previesť na frekvenciu siete (Mastný, a kol. 2011).

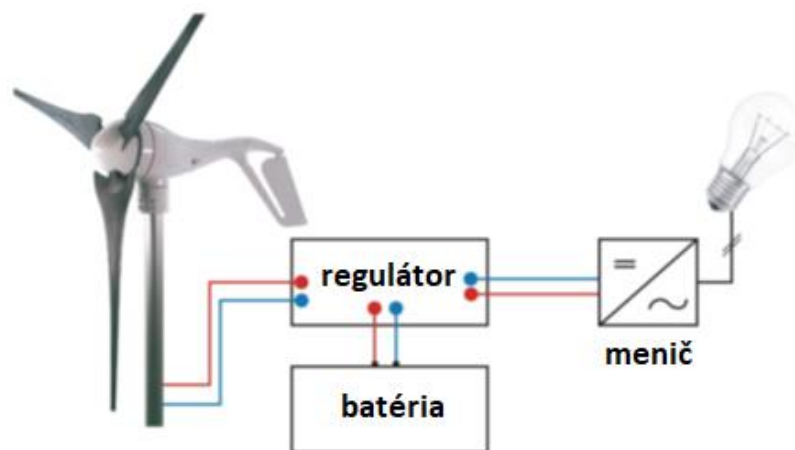
Podľa inštalovaného výkonu je možné rozdeliť veterné elektrárne na:

- Malé – s výkonom do 30 kW, vyrábajú jednosmerný prúd na nabíjanie akumulátorov.
- Stredné – s výkonom do 100 kW, dodávajú striedavý prúd do siete.
- Veľké – s výkonom nad 100 kW, dodávajú striedavý prúd do siete.

V súčasnosti je inštalovaný výkon veterných elektrární vo svete viac ako 40 000 MW a podiel vetra na svetovej výrobe elektriny je asi 0,5 %. Lídrami na svetovom trhu sú Nemecko (15 000 MW), USA (6 400 MW), Španielsko (6 200 MW) a Dánsko (3 100 MW).

Výroba elektrickej energie vo veterných elektrárnach a veterných parkoch zaťažuje životné prostredie menej, ako výroba na báze tradičných fosílnych palív. Napriek uvedenému však treba brať do úvahy aj určité zložitosti aplikácie niektorých obnoviteľných zdrojov energie v reálnej prevádzke elektrizačných sústav. Sú to okrem environmentálnych vplyvov aj vplyvy na prevádzku a riadenie elektrizačných sústav, čo vyplýva z predikovania výroby elektriny v niektorých týchto zdrojoch.

V malých veterných elektrárnach s výkonom do 10 kW sa na výrobu elektrickej energie využívajú viacpólové synchronne generátory s permanentnými magnetmi. Bežnou súčasťou týchto malých veterných elektrární je usmerňovač pre napájanie akumulátorovej batérie alebo autonómnej jednosmernej siete. Elektrárne môžu byť doplnené meničom, umožňujúcim napájanie malých jednofázových spotrebičov. Príklad energetického systému s malou veternou elektrárnou je znázornený na obr. 8.16 (Mastný, a kol. 2011).

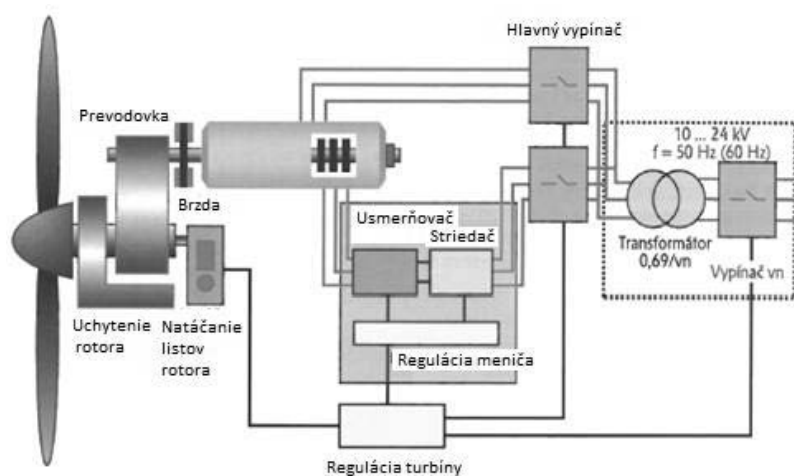


Obr. 8.16 Energetický systém s malou veternou elektrárnou (Mastný, a kol. 2011).

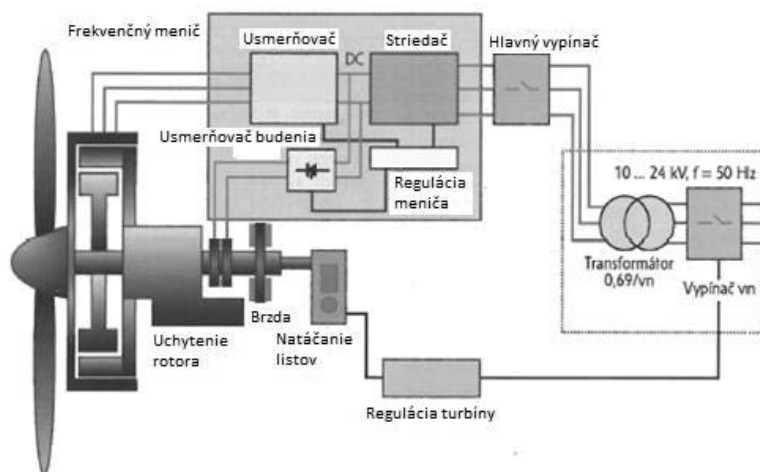
Vo veterných elektrárnach stredných a veľkých výkonov sa na výrobu elektrickej energie využívajú asynchrónne motory s kotvou nakrátko pracujúcou v generátorovom chode. Výhodou asynchrónnych generátorov je ich vysoká prevádzková spoľahlivosť, nenáročná údržba a nízke obstarávacie náklady. Nevýhodou pri využití asynchrónneho generátora, ktorá plynie z malého regulačného rozpätia otáčok generátora, je možné potlačiť využitím asynchrónneho generátora s napájaným rotorom (podsynchronna kaskáda), tzv. Double-Fed Induction Generátor. Toto zapojenie sa používa pri vyšších inštalovaných výkonoch generátorov a umožňuje prevádzku generátorov aj pri nižších otáčkach turbíny – nízkych rýchlostiach vetra. Príklad zapojenia je znázornený na obr. 8.17. Toto zapojenie umožňuje prevádzku bez napájania rotora v prípade spojenia rotorového vinutia nakrátko

alebo v prípade, že sa do rotora zapoja prídavné odpory, ktoré umožnia zvýšenie rozsahu sklzu v generátorovej prevádzke sklonom momentovej charakteristiky generátora.

Synchrónne generátory sa využívajú vo veterných elektrárňach s veľkým inštalovaným výkonom alebo špeciálneho prevedenia. V súčasnej dobe sú pomerne veľmi využívané synchrónne generátory poháňané priamo turbínou bez prevodovky. Konštrukčne sú vyrobené ako synchrónne generátory s budiacim vinutím na rotore. Výhodou tohto riešenia je zníženie hmotnosti gondoly veternej elektrárne, ale na druhú stranu sa zväčšia rozmery generátora, ku ktorému je ďalej pripojený menič frekvencie s možnosťou regulácie celého jeho výkonu. Elektrárne v tomto prevedení môžu pracovať v širokom rozpätí otáčok turbíny. Príklad zapojenia je znázornený na obr. 8.18 (Mastný, a kol. 2011).



Obr. 8.17 Veterná elektráreň s asynchrónnym generátorom (Janiček, 2007).



Obr. 8.18 Veterná elektráreň so synchrónnym generátorom (Janiček, 2007).

Úspešný rozvoj veterných turbín, hlavne na pobrežiach morí, viedol postupne k snahe umiestňovať turbíny na otvorenom mori (obr. 8.19). Súviselo to s tým, že na mori dosahuje rýchlosť vetra vyššie úrovne ako na súši. Na otvorenom mori sú vhodné podmienky na výstavbu hlavne na miestach s plytčinami, ktoré nie sú veľmi vzdialené od pobrežia. Za vhodné miesto je považovaná hĺbka morského dna až do 30 metrov a vzdialenosť

od pobrežia do 30 km. Takýchto miest je veľmi veľa predovšetkým v Severnom mori. Nárast rýchlosti vetra o 10 % znamená až o 30 % viac vyrobenej energie ako na súši. Predpokladá sa, že v budúcnosti bude možné ísť do ešte väčších hĺbok a umiestňovať turbíny na plávajúce plošiny, čím by bolo možné efektívne využívať aj Stredozemné more a iné miesta mimo Európy. S umiestňovaním veterných turbín na otvorenom mori sa začalo na začiatku 90. rokov. V tomto období bola aj preukázaná spoľahlivosť použitých technológií a ekonomickosť výroby. Nevýhodou je, že elektrárne na mori sa vyznačujú vyššími nákladmi na výstavbu, avšak tie sú vykompenzované vyššou výrobou elektrickej energie.



Obr. 8.19 Veterná farma na mori (Euroactiv, 2022).

Prvou veternou farmou na mori sa stali turbíny inštalované severne od ostrova Lolland v južnej časti Dánska neďaleko obce Vindeby. Farma vo Vindeby v Baltickom mori bola vybudovaná v roku 1991. Pozostáva z jedenástich 450 kW turbín vzdialených 1,5 až 3 kilometre od pobrežia. Turbíny boli upravené tak, aby v nich bolo možné umiestniť vysokonapäťové transformátory. Veterná farma pracuje bez problémov a ročne vyrobí približne o 20 % energie viac ako porovnateľná farma na súši.

Druhá veterná farma na mori bola vybudovaná medzi polostrovom Jutland a malým ostrovom Tuno v Dánsku. Pracuje od roku 1995. Je umiestnená na mori s hĺbkou 3 ÷ 5 m a je dôležitá hlavne z pohľadu sledovania vplyvu turbín na životné prostredie. Tuno Knob je miestom, kde sídli veľké množstvo vtákov. Farma pozostáva z desiatich 500 kW turbín. Turbíny sú ukotvené na morskom dne a pripojené na elektrickú sieť na pevnine 6 km dlhým podmorským káblom. Každá turbína je kontrolovaná diaľkovo a zodpovedný pracovník môže kontinuálne sledovať jej prevádzku z operačného centra v obci Hasle. Údržba turbín sa vykonáva dvakrát do roka. Hluk pochádzajúci z veternej farmy meraný na pobreží najbližšieho ostrova je na nižšej úrovni ako je hladina šepotu (15 dB). Na pevnine je hluk

nemerateľný. Celá veterná farma funguje veľmi spoľahlivo a každá turbína ročne vyrobí viac ako 1,3 milióna kWh.

Pozitívne aspekty výstavby veterných elektrární:

- Pri prevádzke nevytvárajú žiadne tuhé, kvapalné ani plyné emisie prípadne iné odpady.
- Nie je potrebná ťažba, spracovanie ani dovoz akéhokoľvek paliva.
- Zastavaná plocha veternej elektrárne je minimálna.
- Po ukončení prevádzky je návrat do stavu „zelenej lúky“ relatívne jednoduchý.
- Konštrukčné materiály elektrárne sú recyklovateľné.

Negatívne aspekty výstavby veterných elektrární:

- Akustický hluk a vibrácie – veterné elektrárne produkujú pri svojej činnosti určitú hladinu hluku. Tento hluk vo vzdialenosti asi 200 – 300 metrov od elektrárne splýva s prirodzeným hlukom krajiny spôsobovaného vo voľnej krajine predovšetkým vetrom (na poliach, v korunách stromov a podobne). Veterné elektrárne je nutné plánovať vo voľnej krajine v určitej bezpečnej vzdialenosti od zastavaného územia.
- Stroboskopický efekt – nepríjemné kmitanie svetla a tieňa možno eliminovať vhodnou lokalizáciou veternej elektrárne, jej dostatočnou vzdialenosťou od obytných zón prípadne i inými opatreniami (výsadba zelene).
- Riziko odpadávania námrazy z točiacej sa vrtule – v prípade, že použitá technológia danú problematiku rieši rozmrazovaním, resp. automatickým zastavovaním rotora turbíny, je toto riziko bezpredmetné.
- Vplyv na vtáctvo a netopiere – možné kolízie vtákov s rotujúcimi vrtuľami, ich rušenie prevádzkou elektrární, strata alebo poškodenie hniezdnych biotopov a ich fragmentácia i narušenie migračných trás (bariérový efekt).
- Vplyv na ráz krajiny – každý návrh na situovanie veternej elektrárne alebo parku musí byť odborne zdokumentovaný vizualizáciou, adekvátnou vizuálnou interpretáciou a simuláciou očakávaných zmien v krajine podľa „Metodiky hodnotenia vizuálnych vplyvov veterných elektrární a veterných parkov na krajinu i krajinárskou štúdiou v rámci procesu posudzovania vplyvov na životné prostredie“.
- Rušenie elektromagnetického signálu – nevhodné územia pre výstavbu veterných parkov sú územia ochranných pasíem vojenských letísk a územia určené pre výcvik a strelby vojenského letectva (Enviroportal, 2022).

8.4.1. Systémy veterných elektrární

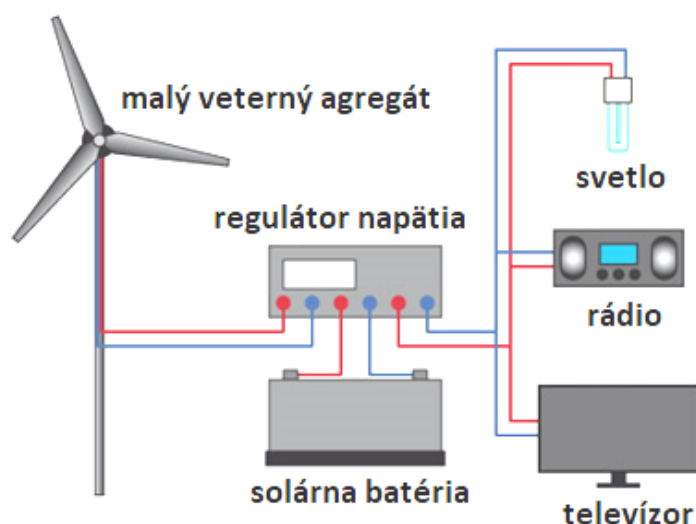
V posledných rokoch vo svete veterná energetika zaznamenala rozvoj, pričom ponúka možnosti centralizovanej ako aj decentralizovanej výroby.

Ostrovné systémy

Ostrovné systémy sú systémy nezávislé od rozvodnej siete (tzv. grid off, autonómne alebo ostrovné) slúžia objektom, ktoré nemajú možnosť pripojiť sa k rozvodnej sieti (obr. 8.20 a obr. 8.21). Na tento účel sa obyčajne používajú mikroelektrárne s výkonom od 0,1 do 5 kW. Súčasťou autonómneho systému sú aj akumulátory (batérie) a riadiaca elektronika. V objekte potom môže byť buď rozvod jednosmerného prúdu s nízkym napätím (12 alebo 24 V), alebo je v systéme zapojený ešte menič napätia na dodávku striedavého prúdu 230 V.

Objekt s autonómnym systémom je potrebné vybaviť energeticky úspornými spotrebičmi. Autonómne systémy bývajú často doplnené fotovoltaiickými panelmi počas letného obdobia, kedy je menej vetra, ale viacej slnka. Pre väčšie výkony sa používajú veterné elektrárne so synchronnými generátormi.

Využívanie tohto systému na vykurovanie objektov je problematické. Objekty na bývanie alebo objekty s intenzívnou prevádzkou by totiž mali stáť na mieste chránenom pred vetrom (najmä kvôli tepelným stratám). Veterná elektráreň naopak potrebuje vetra čo najviac. Nízko nad zemou vzduch brzdí porast, stavby a ďalšie prekážky, takže je nutné umiestniť turbínu na čo najvyšší stožiar. Kábel medzi objektom a elektrárnou zvyšuje náklady, pokiaľ by mal viesť cez cudzie pozemky, môže ísť o neprekonateľnú prekážku.

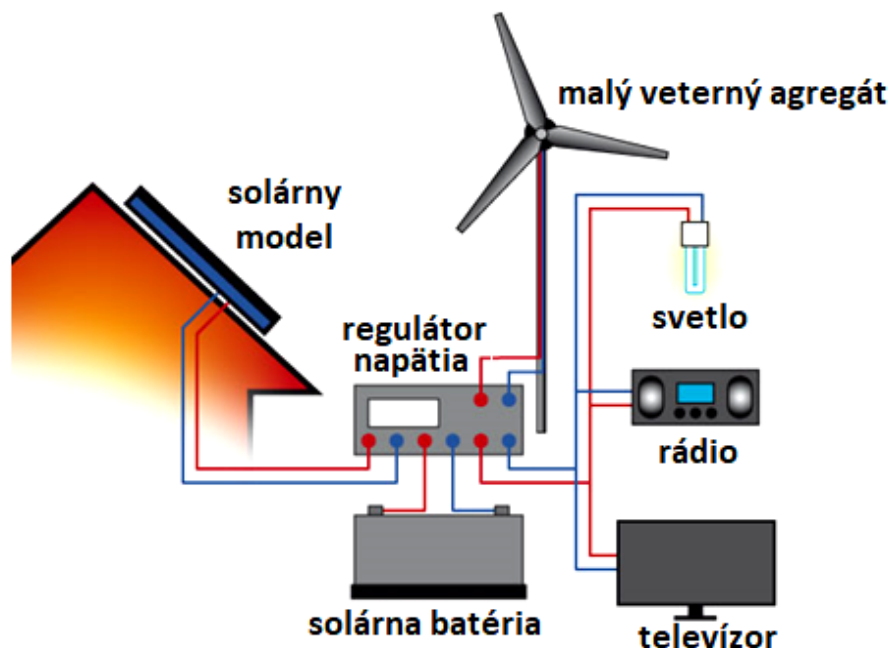


Obr. 8.20 Schéma ostrovného systému (Energoportal.org, 2022).

Ďalší problém je dostatočná rýchlosť vetra. Malé stroje začínajú pracovať už pri rýchlostiach okolo $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($14,4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), ale ich výkon je veľmi malý. Výkon vetra totiž rastie s treťou mocninou rýchlosti, takže napríklad vietor s rýchlosťou $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ má dvakrát väčší výkon ako vietor s rýchlosťou $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Problém je aj príliš vysoká rýchlosť vetra – pri rýchlosti okolo $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pri takejto rýchlosti je nutné elektráreň zastaviť (zabrzdiť vrtuľu), aby nedošlo k havárii. Plný (uvádzaný) výkon dosiahne elektráreň pri rýchlostiach vetra okolo $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, niekedy až $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ podľa typu a výrobcu. Takto silný

vietor fúka len zriedka, elektrárne teda väčšinu prevádzkovej doby pracuje s nižším výkonom.

Cena energie získaná z autonómneho systému je pomerne vysoká. Cena celej zostavy vrátane elektrárne, pripájacieho kábla a akumulátorov sa pohybuje v tisícoch eur. Problém je aj pomerne malá ponuka veterných elektrární s malým výkonom (Energoportal.org, 2022).



Obr. 8.21 Schéma ostrovného systému (Energoportal.org, 2022).

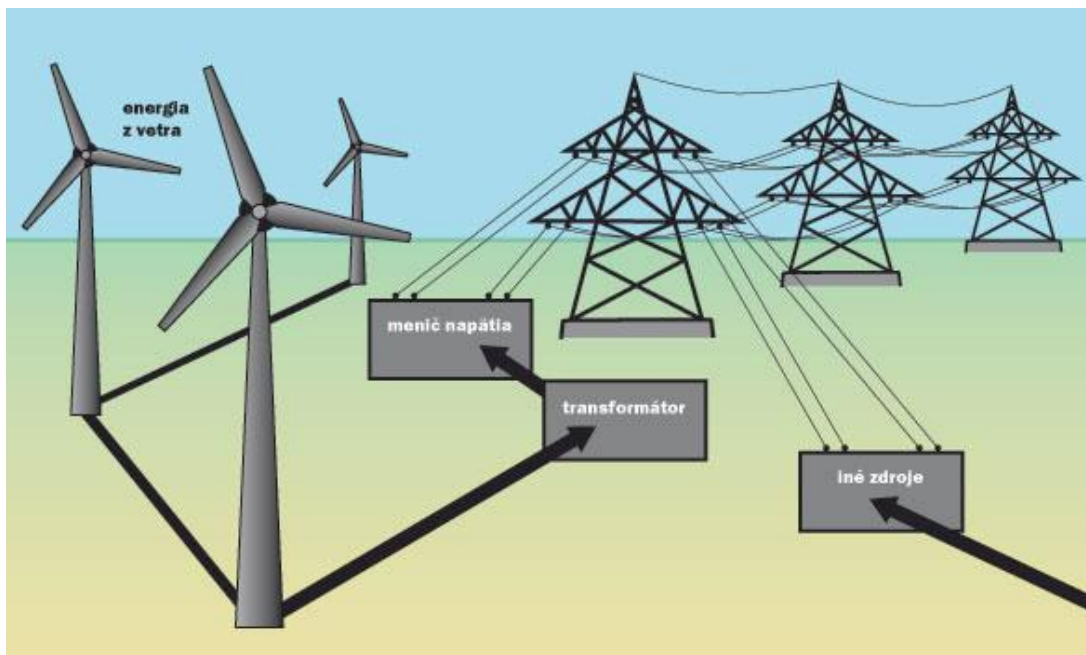
Systémy pripojené na sieť

Systémy dodávajúce energiu do rozvodnej siete (grid on) sú v súčasnosti najrozšírenejšie a používajú sa v oblastiach s veľkým veterným potenciálom (obr. 8.22). Slúžia takmer výhradne pre komerčnú výrobu elektriny.

Trend je výstavba stále väčších strojov (priemer rotora 40 až 100 m a stožiar vysoký viac ako 100 m) a ich skupinová inštalácia do tzv. veterných fariem. Dôvodom sú nižšie náklady na výrobu energie a maximálne využitie lokalít, ktorých je obmedzený počet. Vo vnútrozemí sa stavajú stroje s výkonom 100 až 2 000 kW. Na mori (pozdĺž pobrežia) sa využívajú turbíny s výkonom až 5 MW. Naopak staršie vnútrozemské elektrárne s výkonom do 200 kW sa postupne demontujú a nahrádzajú výkonnejšími, aj keď sú pôvodné ešte schopné prevádzky.

Súčasťou veľkých veterných elektrární je asynchrónny generátor, ktorý dodáva striedavý prúd väčšinou s napätím 660 V, a teda nemôžu pracovať ako autonómne zdroje energie. Existujú tiež elektrárne so špeciálnym mnohopólovým generátorom, ktorý nevyžaduje rozvodnú skriňu. Väčšina elektrární má konštantné otáčky – s rastúcou rýchlosťou vetra sa zvyšuje záťaž generátora. Moderné veterné elektrárne majú rozbehovú rýchlosť vetra okolo $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pre zvýšenie účinnosti sú niektoré turbíny vybavené dvoma

generátormi (alebo jedným generátorom s dvojitým ovinutím). Pri nízkej rýchlosti vetra je v prevádzke menší generátor, pri vyššej rýchlosti vetra sa zapne väčší generátor. Štartovacia rýchlosť pre znížený výkon je okolo $2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Energoportal.org, 2022).



Obr. 8.22 Schéma systému pripojeného na sieť (Energoportal.org, 2022).

8.5. Využitie veternej energie na Slovensku

Na území Slovenskej republiky existuje málo oblastí s rýchlosťou vetra potrebnej na chod veternej turbíny, lokality s vyššou rýchlosťou vetra sa často nachádzajú v chránených oblastiach a preto nie je možné na daných územiach začať s výstavbou.

Na území Strednej Európy je dominantné prúdenie vzduchu zo severozápadu až západu. Napriek zložitému reliéfu prevláda na území Slovenskej republiky v Podunajskej nížine severozápadné prúdenie, naopak na Záhorí dominuje juhovýchodný vietor a na území Východného Slovenska, Považia a Ponitria severné prúdenie.

Slovensko zatiaľ veternú energiu využíva v minimálnej miere. Potenciál na stavbu veterných parkov majú hlavne horské oblasti a Podunajská nížina s rýchlosťou vetra minimálne $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Na Slovensku sú v súčasnej dobe prevádzkované dva veterné parky a to Veterný park Cerová a Veterný park Ostrý vrch. Porovnanie týchto dvoch veterných parkov je spracované v tabuľke 8.4.

Združenie pre veternú energiu Slovenska (ZVES) na základe meraní, ktoré sa doteraz na Slovensku uskutočnili, zhodnotilo, že potenciál Slovenska je na úrovni priemernej veternej krajiny EÚ. Reálne využiteľný potenciál veternej energie v najbližšom období sa odhaduje na 600 MW, čo by dokázalo pokryť približne 3 % spotreby elektrickej energie. Ak by sa tento potenciál využil, veterná energia by sa mohla podieľať na energetickej skladbe Slovenska 4 %. Potenciál veternej energie SR je v porovnaní s potenciálom ostatných obnoviteľných zdrojov energie, ako je biomasa alebo voda, veľmi nízky. Nachádza sa u nás málo skutočne vhodných lokalít na výstavbu veterných elektrární,

kde priemerná ročná rýchlosť vetra dosahuje aspoň $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Lokality s pomerne dobrými veternými podmienkami sa nachádzajú v regiónoch Kysuce, Orava, Spiš a v Malých Karpatoch.

Vzhľadom na skutočnosť, že lokality s priaznivými podmienkami, zahŕňajúce rýchlosť vetra a stálosť veterných pomerov, sa vzhľadom na reliéf slovenskej krajiny nachádzajú v prevažnej miere vo vrcholových oblastiach pohorí, tieto územia sú v dominantnej miere zalesnené a vysoko hodnotné z ekologického a krajinárskeho hľadiska. Výstavba veterných parkov v týchto lokalitách je často nevyhnutne spojená s výrubom lesných porastov, narušením hodnotných biotopov a trvalým ovplyvnením scenérie krajiny. Často sa tieto lokality nachádzajú alebo sú v dotyku s územiaми s vyšším stupňom ochrany prírody (Vagaský, 2005).

Tabuľka 8.4 Porovnanie veterného parku Cerová a Ostrý vrch (Oze, stuba, 2022).

Parametre	Veterný park Cerová	Veterný park Ostrý vrch
Typ	Vestas – V47/660 kW	Vestas – V36/500 kW
Počet agregátov	4	1
Celkový výkon	2,6 MW	0,5 MW
Ročná produkcia	cca 4 000 MWh.rok ⁻¹	cca 800 MWh.rok ⁻¹
Uvedenie do prevádzky	október 2003	júl 2004
Výška stožiara	76 m	40,5 m
Priemer vrtule	46 m	39 m
Pokrytie spotreby	1 500 domácností	300 domácností

Výhody využitia veternej energie na Slovensku

Medzi predpokladané všeobecné výhody využitia veternej energie možno zaradiť: neprodukcii emisií skleníkových plynov (CO₂ a podobne) a emisií ostatných škodlivín (oxidy síry, dusíka, uhlíkovodíky a tuhé znečisťujúce látky), decentralizáciu a demonopolizáciu v sektore energetiky, širokú škálu výkonov od niekoľko 100 W pre domáce použitie až po niekoľko MW na výrobu elektrickej energie do rozvodnej siete, pri malých výkonoch ľahká obsluha a montáž.

Nevýhody využitia veternej energie na Slovensku

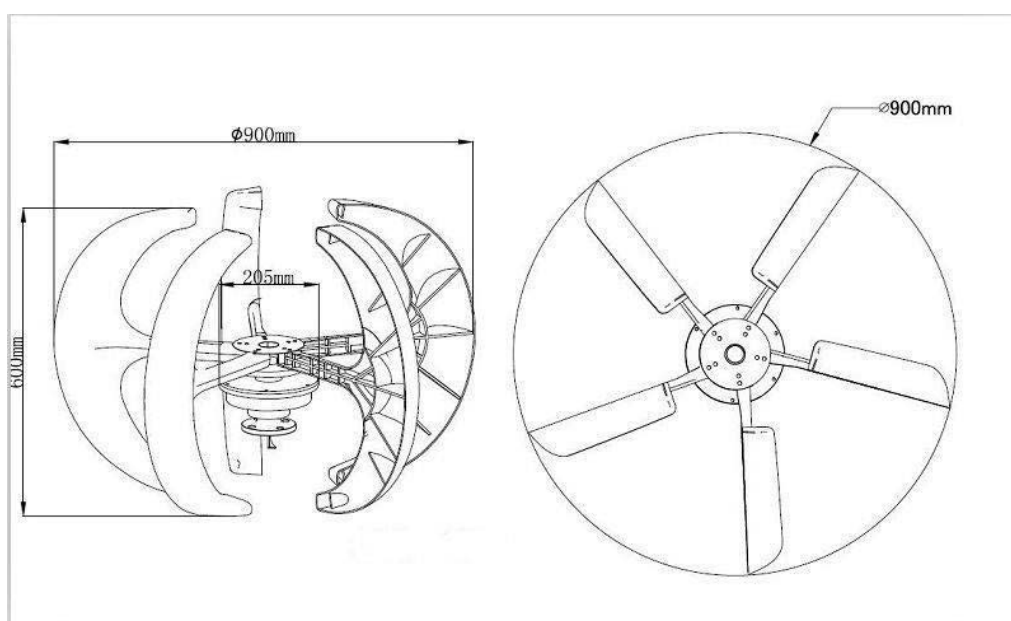
Medzi nevýhody je potrebné zaradiť predovšetkým: nepravidelnú a nízkopotenciálnu využiteľnosť vetra v podmienkach Slovenska, nestabilitu, a s tým súvisiacu nemožnosť regulácie dodávok elektrickej energie do rozvodnej siete, dlhú návratnosť investícií a narušenie ekologického a krajinárskeho rázu krajiny.

Z uvedeného vyplýva, že veternú elektrárňu (VE) alebo veterný park (VP) nemožno vybudovať kdekoľvek. Medzi dominantné kritériá pri výbere lokality výstavby veternej

elektrárne v našich podmienkach patrí priemerná rýchlosť vetra v roku (minimálne $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), krajinnookologické hľadisko narušenia biotopov a scenérie krajiny, vzdialenosť elektrického vedenia rozvodnej siete, prístupnosť k lokalite a dostatočná vzdialenosť od obytných budov, ako aj efektívnosť investície.

8.6. Experimentálne overenie funkcie veternej turbíny s vertikálnou osou

Experimentálna práca sa vykonala na pracovisku Katedry energetickej techniky Žilinskej univerzity v Žiline. Pre overenie funkcie bola vybratá vertikálna turbína typu Savonius s piatimi listami (obr. 8.23). Táto turbína ma navrhnutý špeciálny dizajn lopatiek pre zníženie hluku. Lopatky sú vyrobené zo zmesi polyamidu a sklolaminát, hriadeľ aj spojovací materiál z nerezovej ocele. Rozmery turbíny a technické parametre sa uvedené v tabuľke 8.5.



Obr. 8.23 Schéma päťlistovej turbíny (Martvoňová, 2018).

Tabuľka 8.5 Parametre päťlistovej turbíny.

Rozmery rotora		Technické parametre	
Priemer vrtule	0,9 m	Inicializačná rýchlosť vetra	$1,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Výška listov	0,6 m	Maximálna rýchlosť vetra	$45 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
Hmotnosť	13,5 kg	Napätie	12 V
		Menovitý výkon	300 – 330 W

Vzhľadom na nestálosť počasia bolo meranie vykonané v laboratóriu. Ako zdroj vetra bol použitý ventilátor. Ventilátor bol nasmerovaný tak, aby vŕhal vzduch priamo na lopatky turbíny. Veterná turbína bola umiestnená vo voľnom priestranstve, tak aby sa znížil vplyv rozvíreného vzduchu, ktorý ju mohol spomaliť. Na začiatku každého merania bola najskôr odmeraná rýchlosť vetra dopadajúceho na lopatky a počet otáčok za sekundu (n). Pomocou merača vyprodukovanej energie sa odmeral prúd (I), napätie (U), výkon (P) a elektrický náboj (Q). Na obr. 8.24 je znázornená schéma experimentálneho meracieho stavu.



Obr. 8.24 Schéma meracieho stavu (Martvoňová, 2018).

Napriek tomu, že výrobca udáva štartovaciu rýchlosť $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, veterná turbína dokázala vyrábať minimálny výkon až pri rýchlosti $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Všetky namerané hodnoty sú uvedené v tabuľke 8.6.

Ideálna rýchlosť pre výrobu elektrickej energie je $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Ale ani pri rýchlosti $15,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sa nepodarilo dosiahnuť výkon 300 W , ktorý udáva výrobca.

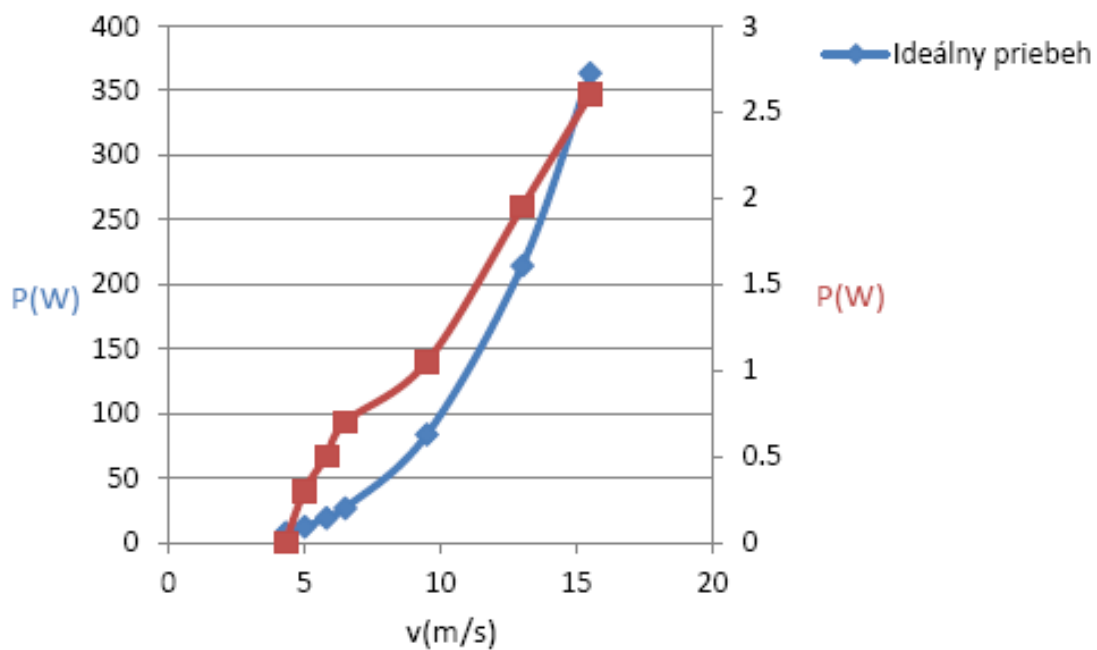
Tabuľka 8.6 Získané hodnoty z merania výkonu päťlistovej turbíny (Martvoňová, 2018).

Rýchlosť vetra	Otáčky	Prúd	Výkon	Elektrický náboj	Napätie
$v \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$	$n \text{ [ot}\cdot\text{s}^{-1}]$	$I \text{ [A]}$	$P \text{ [W]}$	$Q \text{ [A}\cdot\text{h]}$	$U \text{ [V]}$
15,5	152	0,28	2,6	0,27	9,68
13	132	0,21	1,95	0,18	9,68
9,5	104	0,12	1,05	0,15	9,7
6,5	88	0,09	0,7	0,086	9,7
5,8	80	0,07	0,5	0,06	9,7
5	74	0,05	0,3	0,04	9,7
4,3	68	0	0	0	9,7

Keďže namerané hodnoty boli veľmi nízke a nezodpovedali parametrom výkonu deklarovaným výrobcu, vykonal sa výpočet výkonu rotora pre rýchlosti z experimentu podľa nasledujúceho vzťahu:

$$P = c_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (8.9)$$

Na obr. 8.25 je znázornený graf výsledkov vypočítaného a skutočne nameraného výkonu turbíny. Podľa výsledkov výpočtu sa ukázalo, že pri ideálnych podmienkach výkon turbíny by mal dosahovať deklarované parametre, ale experimentálnym meraním sa namerali 100 násobne nižšie výsledky (Martvoňová, 2018).



Obr. 8.25 Výsledky vypočítaného a skutočne nameraného výkonu turbíny (Martvoňová, 2018).

9. BIOMASA

Biomasa patrí medzi obnoviteľné zdroje energie vďaka fotosyntéze, čo je biochemický proces zachytávania energetického slnečného žiarenia. Fotosyntéza (z gréc. fotos = svetlo, synthesis = viazanie) je biochemický proces zachytávania energie slnečného žiarenia a jej využitie na fixáciu oxidu uhličitého v zelených rastlinách za vzniku sacharidov.

Z hľadiska existencie súčasného života na zemeguli sa fotosyntéza pokladá za jednu z najdôležitejších chemických reakcií na Zemi. Pri fotosyntéze sa vytvárajú organické látky spotrebúvané heterotrofnými organizmami pre svoju výživu. Fotosyntetizujúce organizmy za rok fixujú cca $17,4 \cdot 10^{10}$ ton uhlíka na Zemi. Súbežne s asimiláciou sa do atmosféry uvoľňuje kyslík (O_2) v množstve cca $5 \cdot 10^{10}$ ton, čím sa udržiava v atmosfére jeho koncentrácia potrebná pre život. Hybnou silou fotosyntézy je slnečná energia, ktorá je transformovaná do chemických väzieb prírodných polymérov organickej hmoty.

Primárna forma biomasy vzniknutá fotosyntézou v podobe rôznych rastlín je vo svojej podstate chemicky zakonzervovaná slnečná energia. Je to jeden z najstarších a najrozšírejších zdrojov energie na Zemi. Jej výhodou je, že ponúka nielen veľkú rôznorodosť vstupných surovín, ale aj univerzálne využitie v energetike. Je možné ju využiť tak na výrobu tepla, ako aj na výrobu elektrickej energie v moderných energetických zariadeniach.

Biomasa je látka biologického pôvodu zahrňujúca rastlinnú biomasu, ktorá je pestovaná v pôde a vode, živočíšnu biomasu, odpady živočíšneho a organického pôvodu. Je získavaná buď zámernou, alebo ako produkt iných technologických procesov. Zahŕňa aj odpady a druhotné suroviny, ktoré vznikajú pri jej pestovaní a spracovaní, ako aj príslušnú biologicky rozložiteľnú časť komunálneho odpadu (Pastorek, 2004).

Biomasu z hľadiska pôvodu je možné rozdeliť na:

- *Rastlinnú biomasu:*
 - dendromasu – drevná biomasu,
 - fytomasu – jednoročné rastliny.
- *Živočíšnu biomasu – zoomasu.*
- *Komunálne a priemyselné odpady.*

Podľa zdroja vzniku biomasy je možné biomasu rozdeliť na:

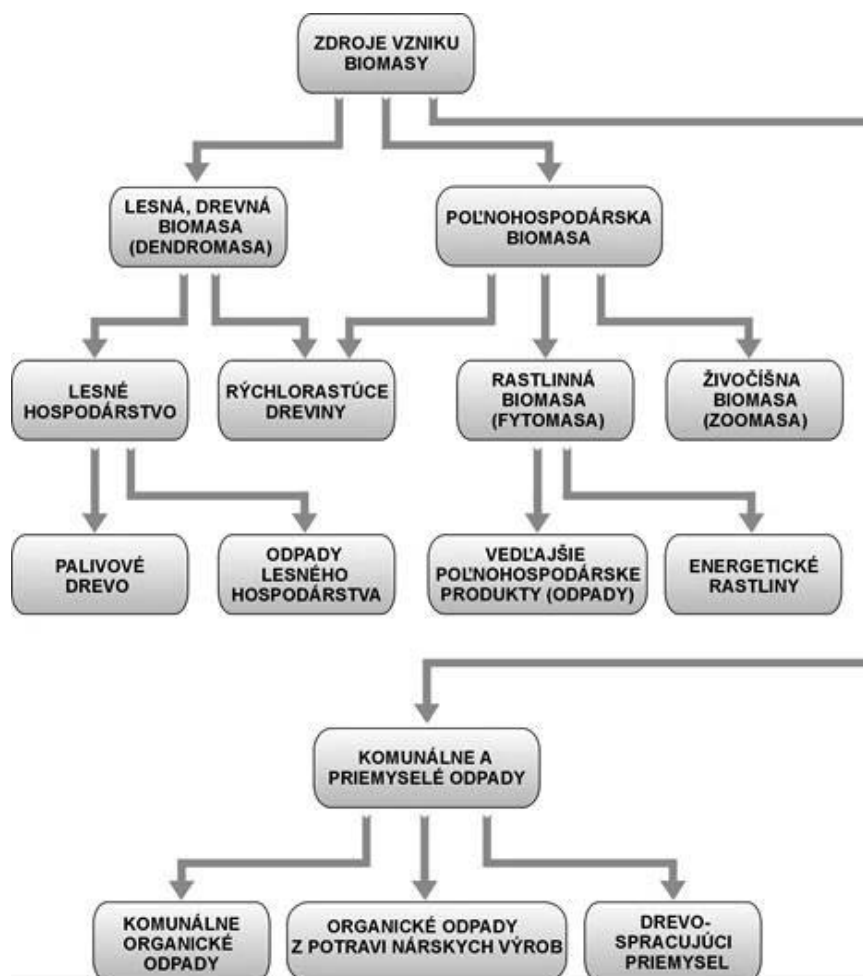
- *Lesnú biomasu – palivové drevo, konáre, pne, korene, kôra, piliny.*
- *Poľnohospodársku biomasu:*
 - fytomasu – napríklad obilná slama, obilie, konope, atď.,
 - živočíšnu biomasu – (zoomasu) – napríklad exkrementy, odpady.
- *Priemyselné a komunálne odpady.*

Z hľadiska energetického využitia je možné biomasu rozdeliť na:

- *Biomasu zámernou pestovanú na tento účel:*

- rýchlorastúce dreviny – topoľ, vrb, jelša,
- energetické rastliny s vysokým obsahom cukru na výrobu alkoholu (cukrová repa, zemiaky, obilie, atď.) a bionafta (repka olejná).
- *Biomasu odpadovú:*
 - drevo a drevný odpad z lesného hospodárstva (palivové drevo, kôra, haluzovina, šišky, pne, atď.) a z drevospracujúceho priemyslu (odrezky, stružliny, piliny),
 - rastlinné odpady z poľnohospodárskej prvovýroby a údržby krajiny (kukuričná a obilná slama, repková slama, ostatky po likvidácii krovín, seno, ostatky z viníc a sadov, atď.),
 - odpady zo živočíšnej výroby (exkrementy z chovu hospodárskych zvierat, ostatky krmív, atď.),
 - komunálne organické odpady (kaly z odpadových vôd, organický podiel z tuhých komunálnych odpadov, atď.),
 - organické odpady z potravinárskych výrob (odpady z mliekarní, mäsokombinátov, liehovarov a konzervární) (Jandačka, 2007 a).

Zdroje vzniku biomasy a ich rozčlenenie je schematicky znázornené na obr. 9.1.



Obr. 9.1 Zdroje vzniku biomasy (Jandačka, 2007 a).

Dendromasa

Hlavnými zdrojmi drevnej biomasy (dendromasy) sú lesné hospodárstva, kde časť vyťaženej suroviny je nevhodná na použitie v drevospracujúcom priemysle. Ďalším zdrojom je drevospracujúci priemysel, ktorý vo výrobnom procese produkuje odpady dreva vhodné na energetické využitie. Perspektívnym zdrojom je drevná hmota, ktorú možno produkovať na málo produktívnych poľnohospodárskych pôdach, resp. iných nelesných pozemkoch pestovaním tzv. rýchlorastúcich drevín. Stromová hmota pozostáva z dreva, kôry a zelenej hmoty, t. j. konárov a ihličia ihličnatých drevín, resp. konárov a listia listnatých drevín. Ihličnaté dreviny pozostávajú zo 70 až 80 % dreva, 10 až 15 % kôry a 10 až 15 % zelenej hmoty. Listnaté dreviny pozostávajú zo 60 až 75 % dreva, 10 až 20 % kôry a 15 až 20 % zelenej hmoty.

Rýchlorastúce dreviny

Rýchlorastúce dreviny sú dreviny s krátkou dobou obrastania a s hmotnostným prírastkom významne prevyšujúcim priemerný prírastok ostatných drevín. Rýchlorastúce dreviny majú oproti lesom predovšetkým tú výhodu, že doba medzi výsadbou a ťažbou je podstatne kratšia. Pohybuje sa medzi 2 až 5 rokmi a výsadba sa obnovuje až po 20 až 30 rokoch. Rýchlorastúce dreviny zároveň dokážu ročne vyprodukovať väčší objem biomasy na rovnakej ploche. Parametre, ktoré sú rozhodujúce pri výbere rýchlorastúcich drevín, sú ich dostupnosť, vhodnosť pre daný typ pôdy i podnebia a potenciálny výťažok z hektára za rok ($t \cdot ha^{-1}$ za rok). Výťažok je najdôležitejším ukazovateľom a pre vrby pestované v našich podmienkach môže dosiahnuť 15 ton suchej hmoty na hektár za rok. Prírastok niektorých vrb sa pohybuje od 2 do 3 metrov za rok (2 až 3 cm denne v letnom období). Pestovanie rýchlorastúcich drevín sa uplatní hlavne v oblastiach s miernym podnebím na pôdach s dobrou zásobou vody a živín. V horších klimatických podmienkach nie je záruka dobrých výnosov a môže dôjsť i k poškodeniu mrazom. Ako veľmi vhodné pôdy pre pestovanie rýchlorastúcich drevín sa ponúkajú pôdy v lokalitách, ktoré sú zaťažené imisiami, kde je obmedzené pestovanie plodín pre potravinárske účely (Jandačka, 2007 a).

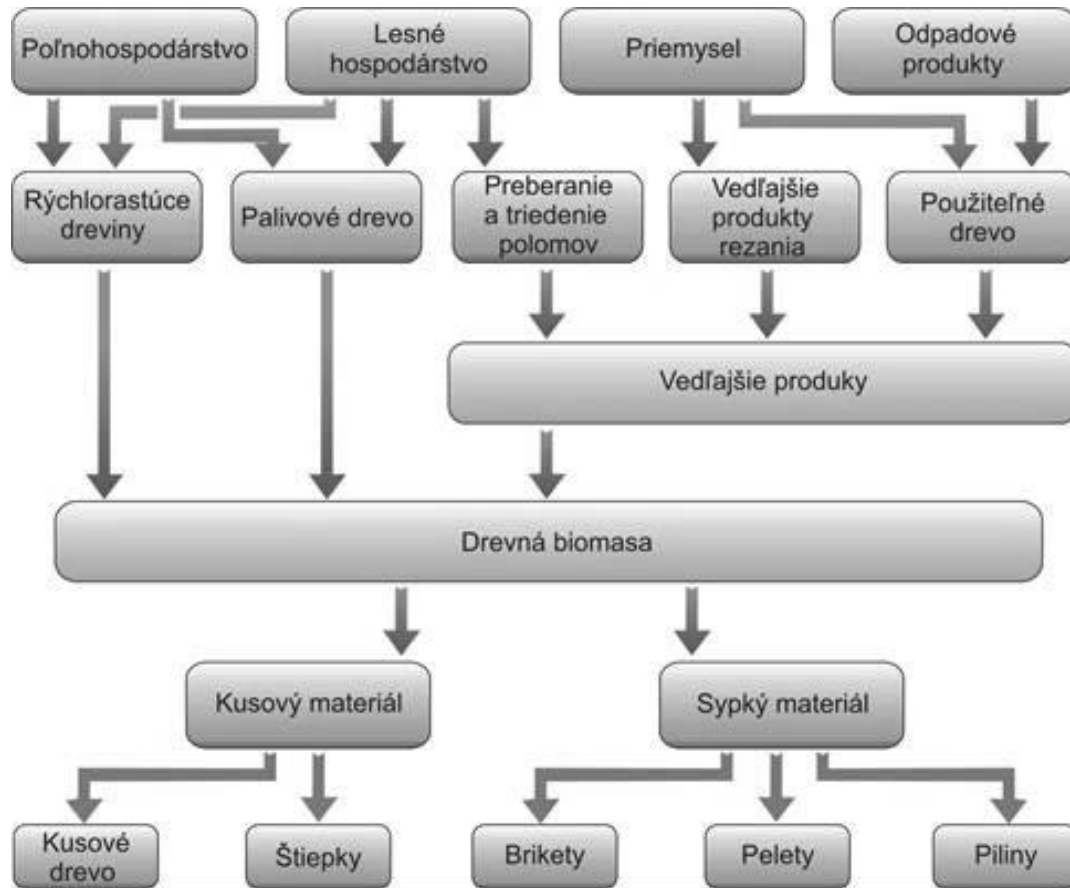
Drevná biomasa je po mnoho miliónov rokov pre človeka jedným z najdôležitejších palivových zdrojov. Podstatné pri jeho využívaní je, že sa dá energeticky zhodnocovať trvalo udržateľným spôsobom. Ročný prírastok celosvetovej drevnej hmoty sa odhaduje na 12,5 miliárd m^3 s energetickým obsahom 182 EJ, čo je asi 1,3 násobok celosvetovej ročnej spotreby uhlia. Priemerná spotreba dreva na všetky účely predstavuje asi 3,4 miliárd m^3 za rok (ekvivalent 40 EJ za rok). Z uvedeného vyplýva, že vo svete existuje značný potenciál využitia dreva na energetické účely (Oznámenie komisie, 2005).

Fytomasa

V súčasnej dobe sa prejavuje zvýšený záujem o energetické využívanie poľnohospodárskych odpadov z rastlinnej výroby a zámerne pestovanie energetických rastlín. Energetické rastliny sú rastliny s nedrevnatou stonkou cielene pestované pre produkciu energie. Plošný energetický zisk pestovania týchto rastlín nie je veľmi vysoký. V praxi sa zatiaľ využíva len niekoľko druhov rastlín. Z hľadiska energetiky je dôležitý

predovšetkým výnos, pestovateľské náklady, náklady na úpravu produktu pre kúrenárske účely, logistika dopravy hotových biopalív ku spotrebiteľovi, atď. (Hartmann, 2003).

Na obr. 9.2 sú uvedené zdroje drevnej biomasy a rôzne formy biomasy využívanej na výrobu tepelnej, resp. elektrickej energie.



Obr. 9.2 Formy drevnej biomasy (Jandačka, 2007 a).

V podmienkach Európy dokážu rastliny z 1 MJ slnečnej energie vytvoriť 1,2 až 1,4 g sušiny fytomasy, rastliny s C₄ typom fotosyntézy sú efektívnejšie. Vytvorenie 1,4 g sušiny z 1 MJ slnečnej energie je považované za jedno z kritérií pre výber rastlín na využívanie vo fytoenergetike.

Cielene pestované energetické rastliny je možné rozdeliť na obilniny (celé vrátane zrna), trávnaté porasty (slonia tráva, trvalé trávne porasty), ostatné rastliny (konope, širok), olejnaté rastliny (repka olejnatá, slnečnica) a škrobnato-cukornaté rastliny (zemiaky, cukrová repa, kukurica). Z hľadiska pestovania energetických rastlín na jednom mieste, je možné ich rozdeliť na jednorôčné rastliny, viacrôčné rastliny a trvácne rastliny (trávy).

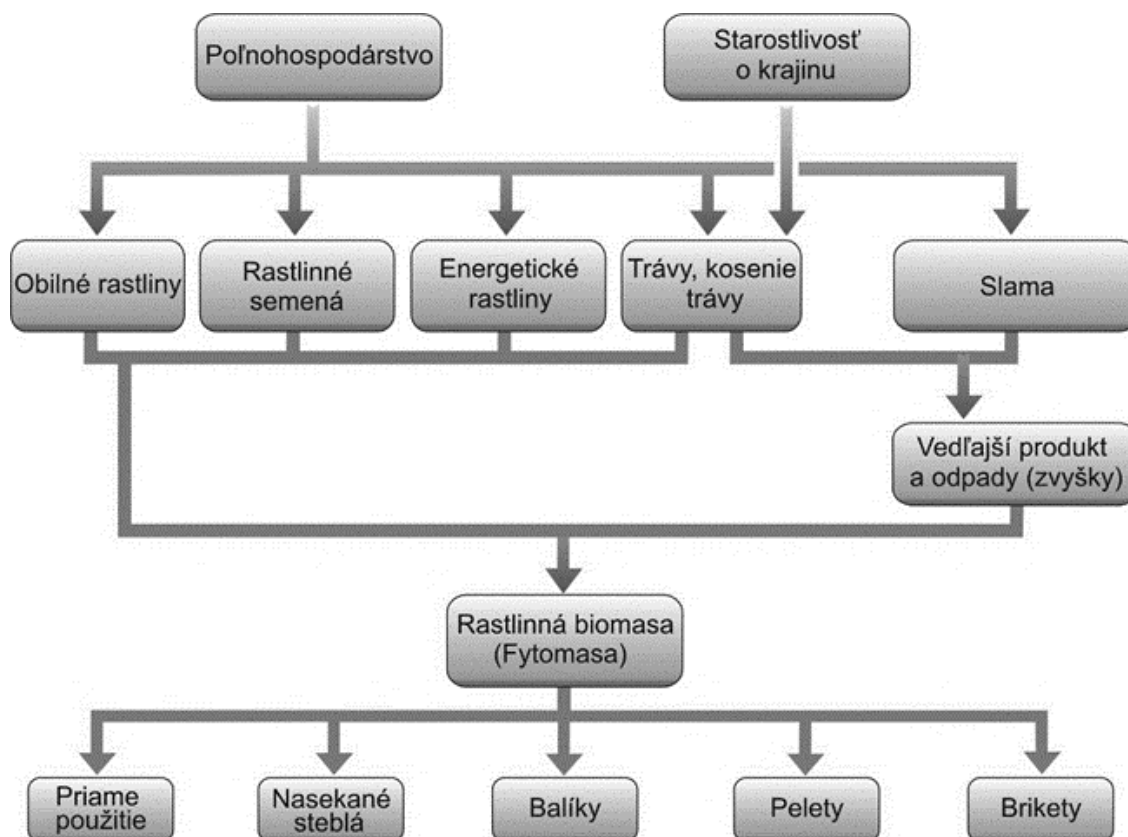
Z energetického a ekonomického hľadiska je tiež dôležité, v ktorom termíne rastliny zberať. Či v dobe najväčšieho nárastu fytomasy alebo neskôr na jeseň, prípadne skoro na jar. Všeobecne najväčší nárast fytomasy je u väčšiny rastlín v čase kvitnutia alebo tesne po odkvitnutí. Potom dochádza k postupnej strate fytomasy. V prvom termíne zberu je obsah vody vo fytomase v rozmedzí 60 až 80 % a takto vlhká fytomasa sa dá priamo využiť

iba na výrobu bioplynu. Pokiaľ by sa fytomasa mala používať pre účely spaľovania priamo v kotloch alebo na výrobu peliet, prípadne brikiet, je potrebné ju dosušiť za priaznivého počasia priamo na poli alebo umelo v sušiarňach. Sušenie v sušiarňach však nie je najlacnejšie, najmä v prípade dosušovania teplým vzduchom (Židek, 2003).

Polnohospodárska biomasa sa delí do troch základných skupín (Jandačka, 2007 a):

- *Biomasa vhodná na spaľovanie:*
 - slama (obilná, repková, kukuričná, slnečnicová),
 - drevený odpad (z vinogradov, sadov).
- *Biomasa vhodná na výrobu bioplynu:*
 - z exkrementov hospodárskych zvierat,
 - zo zelenej hmoty,
 - odpad z potravinárskych prevádzok.
- *Biomasa vhodná na výrobu kvapalných biopalív:*
 - na výrobu MERO (metylester repkového oleja),
 - na výrobu bioetanolu.

Na obr. 9.3 sú uvedené niektoré zdroje a z nich výsledná forma fytomasy.



Obr. 9.3 Zdroje a formy rastlinnej biomasy (Jandačka, 2007 a).

9.1. Vlastnosti tuhej biomasy

Využitie tuhej biomasy ako paliva je určené jej chemickými a fyzikálnymi vlastnosťami. Konštrukčná realizácia spaľovacích zariadení musí brať ohľad na tieto vlastnosti.

9.1.1. Chemické zloženie biomasy

Z hľadiska chemického zloženia rastlinnej biomasy predstavujú najväčší podiel uhlík (C), vodík (H₂) a kyslík (O₂). Oxidáciou uhlíka a vodíka dochádza k uvoľňovaniu tepelnej energie. Najpodstatnejšou zložkou pri uvoľňovaní tepelnej energie je uhlík. Kyslík pri chemických reakciách neuvolňuje teplo. Biomasa okrem základných chemických prvkov obsahuje aj prvky, ktoré majú vplyv na produkciu škodlivých látok pri jej spaľovaní. Medzi ne patrí síra (S), chlór (Cl) a dusík (N₂). K prvkom, ktoré zaťažujú životné prostredie patrí aj popol. Vo všeobecnosti platí, že zvýšené množstvo týchto prvkov v palive sa prejavuje zvýšeným obsahom škodlivých látok v spalinách. Základné chemické zloženie niektorých druhov biomasy je uvedené v tabuľke 9.1.

Prvkové zloženie biomasy sa príliš nelíši. Z toho dôvodu sa príliš nelíšia ani jej energetické vlastnosti. Pri biomase sa na rozdiel od fosílnych palív objavuje približne dvojnásobné množstvo kyslíka a menšie množstvo uhlíka. Obsah vodíka je pri fosílnych palivách a biomase približne rovnaký. Jednotlivé palivá sa odlišujú obsahom látok s vplyvom na produkciu emisií. Napríklad obsah dusíka v suchom dreve predstavuje podiel cca 0,1 až 0,2 %. V suchej slame je obsah dusíka cca 0,5 %. Tieto hodnoty sú relatívne malé. Rastliny bohaté na bielkoviny majú podiel vodíka podstatne väčší. Medzi takéto rastliny patrí obilné zrnó, seno a trávy. Dusík obsiahnutý v palive sa zúčastňuje pri spaľovaní na tvorbe oxidov dusíka v spalinách (NO_x). Oxidy dusíka nepriaznivo vplyvajú na človeka a životné prostredie. Oxidy dusíka sú charakteristické typickým čpavkovým zápachom, dráždia dýchacie cesty a vo vyšších koncentráciách pôsobia toxicky. Biomasa v porovnaní s fosílnymi palivami vykazuje vo všeobecnosti relatívne veľmi nízky obsah síry. Najväčší podiel síry vykazuje suchá repková slama, cca 0,3 %. U dreva je tento podiel zanedbateľný, predstavuje cca 0,02 až 0,05 %. Slama, seno a trávy vykazujú obsah síry v intervale cca 0,1 až 0,2 %. Z toho dôvodu počas spaľovania biomasy nevzniká výrazné množstvo oxidu siričitého.

Tabuľka 9.1 Chemické zloženie biomasy (Blažej, 1975).

Palivo	Zložky paliva v suchej hmote [%]					
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	Cl
Smrekové drevo s kôrou	49,8	6,3	43,2	0,13	0,015	0,005
Bukové drevo s kôrou	47,9	6,2	45,2	0,22	0,015	0,006
Topoľové drevo – krátke výhonky	47,5	6,2	44,1	0,42	0,031	0,004
Vrbové drevo – krátke výhonky	47,1	6,1	44,3	0,54	0,045	0,004

Pokračovanie tabuľky 9.1 Chemické zloženie biomasy (Blažej, 1975).

Palivo	Zložky paliva v suchej hmote [%]					
	C	H ₂	O ₂	N ₂	S	Cl
Kôra s ihličnatého dreva	51,4	5,7	38,7	0,48	0,085	0,019
Žitná slama	46,6	6,0	42,1	0,55	0,085	0,400
Pšeničná slama	45,6	5,8	42,4	0,48	0,082	0,190
Tritikale slama	43,9	5,9	43,8	0,42	0,056	0,270
Jačmenná slama	47,5	5,8	41,4	0,46	0,089	0,400
Repková slama	47,1	5,9	40,0	0,84	0,270	0,470
Pšeničné zrno so slamou	45,2	6,4	42,9	1,41	0,120	0,090
Tritikale zrno so slamou	44,0	6,0	44,6	1,08	0,180	0,140
Zrno pšenice	43,6	6,5	44,9	2,28	0,120	0,040
Zrno tritikale	43,5	6,4	46,4	1,68	0,110	0,070
Repkové semeno	60,5	7,2	23,8	3,94	0,100	0,000
Ozdobnica čínska	47,5	6,2	41,7	0,73	0,150	0,220
Poľnohospodárske seno	45,5	6,1	41,5	1,14	0,160	0,220
Pasienková tráva	46,1	5,6	38,1	1,34	0,140	1,390

Ďalším z prvkov s vplyvom na produkciu emisií je chlór. Chlór sa dostáva do biomasy z hnojenia poľných kultúr, nakoľko chlór je značne významná sprievodná látka v hnojivách zvlášť v draslíkových. Objavuje sa hlavne v slame obilnín (0,2 až 0,5 %), sene (1,4 %) a trávach (0,3 %). Oproti tomu obsah chlóru v dreve je veľmi nízky cca 0,005 %, čo je dané najmä rastom dreva na nehnojených plochách. Kolísanie obsahu chlóru v slame a tráve sa mení na základe vysokej mobility chloridov. Môžu sa vymyť zo suchej pôdy počas letných búrok. Pri spaľovaní sa chlór podieľa na tvorbe kyseliny chlorovodíkovej (HCl) a dioxínov.

V biomase sa nachádza ešte veľa ďalších tzv. stopových anorganických prvkov, ktoré nepriamo ovplyvňujú spaľovací proces, vznik škodlivých látok, tvorbu nánosov a podobne. Medzi ne patrí olovo (Pb), draslík (K), sodík (Na), vápnik (Ca), kremík (Si), mangán (Mn), bór (B), meď (Cu), železo (Fe), nikel (Ni), horčík (Mg), zinok (Zn), atď. (Blažej, 1975).

9.1.2. Zloženie paliva

Tuhé palivá pozostávajú z horľaviny (h), popola (A) a vody (w). Všeobecné zloženie paliva možno vyjadriť zápisom:

$$h + A + w = I \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (9.1)$$

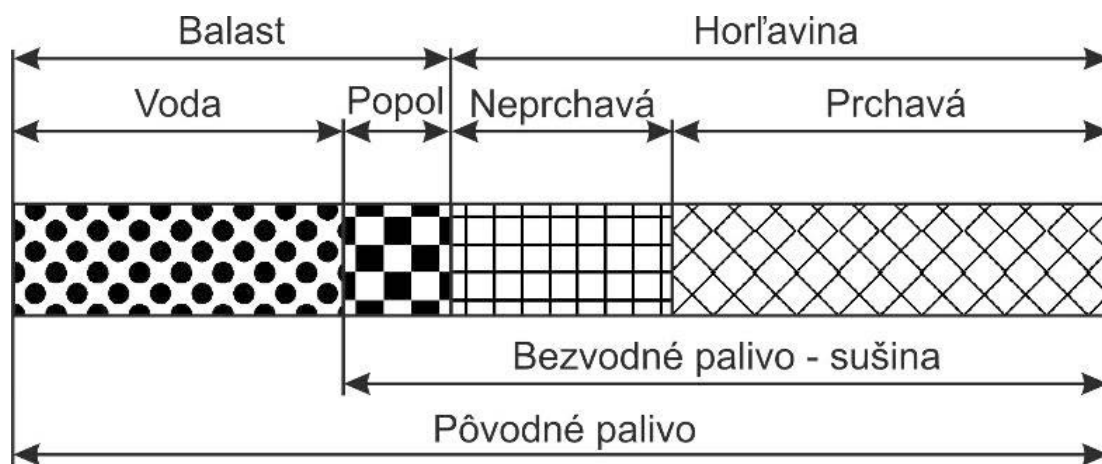
Horľavinu tvorí tá časť paliva, ktorej oxidáciou sa uvoľňuje teplo, t. j. chemicky viazaná energia v palive. Jedná časť horľaviny sa skladá z prvkov uhlíka (C), vodíka (H₂) a prípadne síry (S). Sú to tzv. aktívne látky horľaviny, pri oxidácií ktorých vzniká teplo. Druhú časť horľaviny predstavujú tzv. pasívne látky, ktoré nedodávajú teplo, ale sú viazané na organickú hmotu. Pasívnymi látkami horľaviny sú kyslík (O₂) a dusík (N₂), ktoré pri chemickej reakcii neuvolňujú teplo, resp. pre ich priebeh je nevyhnutné dodanie tepla.

Horľavinu je možné vyjadriť nasledujúcim zápisom:

$$h = C + H_2 + S + N_2 + O_2 = 1, \quad [\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (9.2)$$

kde h – je horľavina a C, H₂, S, N₂, O₂ – sú hmotnostné zlomky príslušných prvkov.

Súčet podielov uvedených prvkov (uhlíka, vodíka, síry, dusíka a kyslíka) predstavuje podiel horľaviny v palive (Blažej, 1975). Na obr. 9.4 je znázornené zloženie paliva.



Obr. 9.4 Palivo a jeho zložky (Jandačka, 2007 a).

Horľavina sa ďalej delí na neprchavú a prchavú zložku, ktorých podiel sa stanovuje tzv. koksovacou skúškou pri 850 °C za neprítomnosti kyslíka. Podiel, ktorý pri tejto skúške vyprchá, je tvorený prchavou zložkou horľaviny a vodnou parou. Ochladením prchavých zložiek sa získa karbonizačný plyn, decht a voda. Tuhý zvyšok po koksovaní vzorky je tvorený neprchavou horľavinou (tuhý uhlík) a popolovinami premenenými pri žihaní na popol.

Prchavá horľavina má výrazný vplyv na tvorbu plameňa a na proces spaľovania tuhých palív, preto je veľmi dôležité poznať zásadné rozdiely medzi palivami z hľadiska tohto parametra. V prípade tuhých fosílnych palív podiel prchavej horľaviny závisí od geologického veku, a tým aj od stupňa zuhoľnatenia paliva. Čím je palivo geologicky staršie, tým má menší prchavý podiel a naopak.

Biomasa všeobecne obsahuje veľké množstvo prchavej horľaviny. Bežne sa pohybuje okolo 75 %. Najviac jej obsahuje drevo, a to spôsobuje, že drevo nehorí v kúrenisku,

ale v priestore medzi kúreniskom a komínom. Často sa hovorí o tzv. dlhom plameni dreva a biopalív. Ak prchavá horľavina nevyhorí v tomto priestore, či už z dôvodu veľkosti kúreniska, nedostatku kyslíka alebo nedostatočnej teploty, horľavina sa odvádza do atmosféry a vytvára emisné zaťaženie okolia. Z hľadiska prevádzky spaľovacích zariadení, nespálenie prchavej zložky paliva predstavuje tepelnú stratu zariadenia tzv. chemickým nedopalom. Pri poklese teploty prchavej horľaviny v nejakom mieste spaľovacieho zariadenia pod spaľovaciu teplotu, niektoré jej uhl'ovodíky kondenzujú a spolu so sadzami a popolčekom sa usádzajú na povrchu výhrevných plôch a vytvárajú nánosy. Tieto nánosy zhoršujú prestup tepla medzi spalinami a teplotným médiom, čoho dôsledkom je zníženie účinnosti spaľovacieho zariadenia. Z tohto dôvodu sú spaľovacie zariadenia konštruované odlišne od zariadení určených na spaľovanie čierneho uhlia a koksu. Biomasa nutne vyžaduje prívod sekundárneho vzduchu do priestoru nad roštom, ďalej musí byť tento vzduch ohriaty na teplotu čo možno najbližšie k teplote spalín. Studený vzduch by sa so spalinami s vysokou viskozitou zle miešal. Pre spaľovaciu komoru je tiež dôležité, aby nebola vychladzovaná. Tým sa udrží dostatočne vysoká teplota a čas pre spaľovanie oxidu uhoľnatého.

Balast paliva tvorí popol (A) a voda (w). Balast je nežiaduci podiel paliva. S rastom balastu v palive klesá spalné teplo paliva, resp. výhrevnosť, znižuje sa jeho cena a pri veľkom podiele balastu je palivo nevhodné na využívanie, lebo náklady na jeho dopravu môžu prevažovať jeho využiteľnú hodnotu.

Popol vzniká v dôsledku reakcii minerálnych látok prítomných v biomase a kyslíka. Je to pevný zvyšok, ktorý vznikne po dokonalom laboratórnom spálení paliva. Tvorený je minerálnymi látkami, ktoré sa v palive nachádzajú. Z chemického hľadiska popol z biomasy je hlavne tvorený zmesou oxidov anorganických prvkov K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 , P_2O_5 . Množstvo popola je závislé od podmienok, pri ktorom prebieha proces spaľovania.

Popoloviny v procese spaľovania paliva tvoria tuhý zvyšok – popol, ktorý môže byť v nasledovných formách:

- *Troska* – minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré prešli pri horení paliva procesom tavenia a vytvorili hutnú sklovitú hmotu.
- *Škvára* – minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré v priebehu horenia zmäkli, spiekli sa a vytvorili pórovitý materiál.
- *Popol* – minerálne látky nachádzajúce sa v palive, ktoré v priebehu horenia paliva zostávajú vo forme sypkej hmoty a prepadávajú cez rošt do popolnice.
- *Popolček* – jemné častice tuhého zvyšku (popola), ktoré sú v procese spaľovania paliva strhávané z kúreniska, resp. zo spaľovacej komory spalinami. Zachytávané sú v odlučovačoch popolčeka alebo sú spalinami odvádzané komínom do atmosféry a tvoria emisný spád tuhých znečisťujúcich látok (TZL) na okolie (Blažej, 1975).

Pre spoľahlivú prevádzku spaľovacieho zariadenia je nevyhnutné poznať teplotu tavenia popolovín nachádzajúcich sa v palive.

Podľa teploty tavenia popola sa popol rozdeľuje na:

- Ľahko tavitel'né popoly, interval teplôt tavenia popola 1 000 až 1 200 °C.
- Stredne tavitel'né popoly, interval teplôt tavenia popola 1 200 až 1 450 °C.
- Ťažko tavitel'né popoly, interval teplôt tavenia popola > 1 450 °C.

Pri uhlí je pomerne veľký obsah oxidov kremíka a hliníka. Z toho dôvodu má táto popolovina pomerne vysokú teplotu tavitel'nosti. Pri biomase je naopak podstatná časť tvorená oxidmi vápnika, horčíka, draslíka a sodíka. Zatiaľ čo vápnik a horčík zvyšuje bod topenia popola, draslík, chloridy a nízko topiace alkalické silikáty spôsobujú pokles bodu topenia.

Pri niektorých druhoch rastlinnej biomasy, ako slama, celé rastliny obilnín a seno je teplota spaľovacieho priestoru vyššia ako 800 – 900 °C. Z tohto dôvodu, je nutné považovať slamu, seno a obilniny za technicky zložitejšie spálitel'né palivo. Veľkosť zrn popola rôznych druhov biomasy ukazuje na podstatne väčšie množstvo častíc poletujúceho popola u steblovín oproti drevným biopalivám. To je spojené s podstatne vyšším znečistením výmenníka tepla a následnou požiadavkou na jeho vhodnú konštrukciu umožňujúcu automatické čistenie.

V biopalivách sa z ekologického hľadiska nachádza nezanedbateľné množstvo ťažkých kovov, ako je kadmium a zinok. Častice s týmito kovmi sú najčastejšie súčasťou najjemnejších frakcií a sú emitované do ovzdušia. U väčších zdrojov je nutný filter jemných frakcií, ktoré sa na rozdiel od ostatných frakcií nesmú použiť ako hnojivo, ale je potrebné ukladať ich na skládkach.

Udržať teplotu v spaľovacej komore v takýchto medziach, aby sa nevytvárali spekance a nánosy je pomerne zložité, avšak je možné regulovať teplotu spaľovania aspoň v určitých medziach tak, aby sa tvorba spekancov a nánosov výrazne obmedzila.

Obsah popola v palive sa vyjadruje na základe nasledujúceho vzťahu:

$$A = \frac{m_p}{m_d}, \quad [-] \quad (9.3)$$

kde m_p – je hmotnosť popola [g], m_d – je hmotnosť absolútne suchej vzorky paliva [g].

9.1.3. Obsah vody v biomase

Biomasa je charakterizovaná pomerne vysokým a meniacim sa obsahom vody, ktorý v palive do značnej miery ovplyvňuje energetické vlastnosti biomasy.

Pri stanovení obsahu vody v palive je potrebné rozlišovať či sa jedná o vyjadrenie obsahu vody na základe zvyklosti z drevospracujúceho priemyslu resp. na základe energetického vyjadrenia obsahu vody.

V drevospracujúcom priemysle sa obsah vody v drevnej hmote vyjadruje na základe absolútnej vlhkosti:

$$w_{dr} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_2} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.4)$$

kde m_1 – je hmotnosť vzorky surovej drevnej hmoty [kg], m_2 – je hmotnosť vzorky po vysušení [kg], Δm – je úbytok hmotnosti vzorky vplyvom vysušenia [kg].

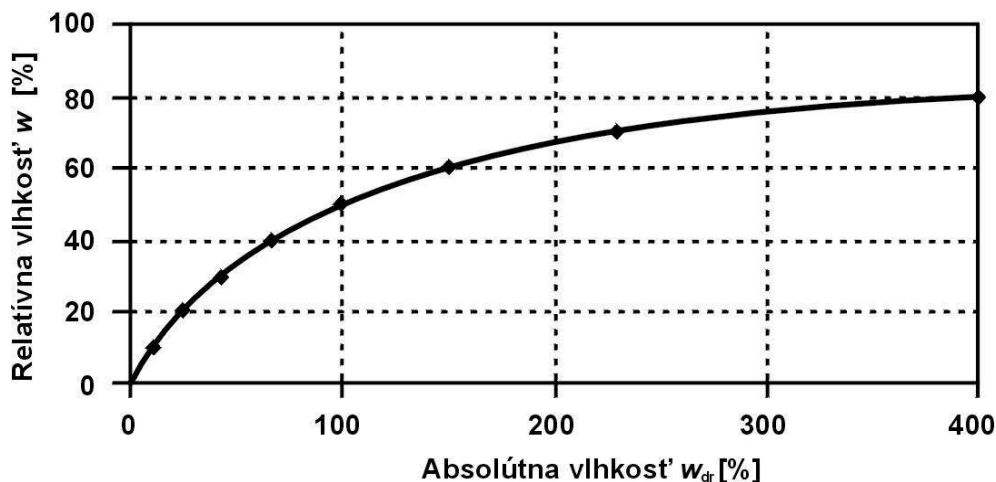
V energetike sa vyjadruje obsah vody na základe relatívnej vlhkosti:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 = \frac{\Delta m}{m_1} \cdot 100 \quad [\%] \quad (9.5)$$

Prepočet obsahu vody v palive z absolútnej vlhkosti na relatívnu vlhkosť je daný nasledujúcim vzťahom:

$$w = \frac{w_{dr}}{100 - w_{dr}} \quad [\%]. \quad (9.6)$$

Na obr. 9.5 je uvedený prepočet absolútnej vlhkosti paliva (w_{dr}) na relatívnu vlhkosť paliva (w).



Obr. 9.5 Prepočet absolútnej vlhkosti paliva (w_{dr}) na relatívnu vlhkosť paliva (w) (Jandačka, 2007 a).

Biomasa vykazuje široké rozpätie obsahu vody. V procese spaľovania predstavuje vysoký obsah vody (vlhkosti) v palive väčšie nároky na spotrebovanú energiu na jej odparovanie. Okrem toho má vlhkosť paliva z biomasy nepriaznivý vplyv na:

- Tvorbu klenby v zásobníkoch paliva.
- Objem spalín a množstvo vodnej pary v spalínach.
- Vzrast teploty rosného bodu spalín, ktorá sa negatívne premieta v náraste tzv. kombinovanej straty zdroja tepla.
- Zvýšené nebezpečenstvo vzniku korózie niektorých častí spaľovacieho zariadenia a podobne.

Zvýšenie obsahu vody v dreve z 20 na 40 % spôsobuje vyššiu spotrebu paliva o takmer polovicu. Pri 50 % obsahu vody v dreve (čo je bežný prípad), je spotreba paliva skoro dvojnásobná. Závislosť je tu totiž progresívna. Časť drevnej hmoty sa spotrebuje iba na odparenie vody bez ďalšieho efektu. Na základe tejto skutočnosti je možné prijať dve riešenia alebo ich kombináciu:

- Dbať na vysušenie paliva pred spaľovaním.
- Väčším výmenníkom využiť aj teplo obsiahnuté v odparenej vode a spaliny priviesť až ku kondenzácii. Pri spalinách z dreva by pri kondenzácii nemali nastať väčšie problémy.

Pri správnom spaľovaní a pri správnej vlhkosti drevo horí prakticky bez dymu, ľahko sa zapaluje, nešpiní pri manipulácii a tvorí málo popola, asi 1 % pôvodnej hmotnosti. Z dôvodu obsahu dusíka, vápnika, horčíka, hydroxidu draselného, oxidu kremičitého, kyseliny fosforečnej a stopové prvky. Výborne však horí každé drevo, ktoré má nízky obsah vlhkosti, t. j. 15 až 20 %. Všeobecne sa požaduje doba sušenia 18 až 24 mesiacov. Túto dobu je možné účinne skrátiť na 12 až 15 mesiacov, keď sa rozreže na potrebnú dĺžku. Lepšie je drevo rozštiepané na štvrtky ako celá guľatina. Priemerné zastúpenie horľaviny, vody a popola v dreve je uvedené v tabuľke 9.2.

Tabuľka 9.2 Priemerné zastúpenie horľaviny, vody a popola v dreve (Židek, 2003).

Palivo	Horľavina [%]	Voda [%]	Popol [%]
Drevo (po ťažbe)	20 – 40	60 – 80	0,1
Drevo (vzduchosuché)	74,5 – 79,5	20 – 25	0,5
Pelety z drevnej hmoty	92	7	1

9.1.4. Spalné teplo a výhrevnosť

Z hľadiska energetického využitia biomasy sú najdôležitejšími vlastnosťami paliva výhrevnosť a spalné teplo.

Spalné teplo Q_s [MJ.kg⁻¹] je teplo uvoľnené dokonalým spálením aktívnych zložiek horľaviny C, H, S obsiahnuté v 1 kg paliva na CO₂, SO₂, a kvapalnú vodu H₂O.

Výhrevnosť Q_i [MJ.kg⁻¹] je teplo uvoľnené za rovnakých podmienok len s tým rozdielom, že miesto kvapalnej vody sa uvoľňuje para. Výhrevnosť sa vypočíta zo spálneho tepla odpočítaním výparného tepla vody (Q_v). Voda uvoľňujúca sa spaľovaním je súčtom vody obsiahnutej v palive (vlhkosť paliva) a vody vzniknutej spálením paliva (obsah vodíka v palive).

V mnohých prípadoch sa spalné teplo a výhrevnosť vyjadruje na základe jednotiek kWh.kg⁻¹. Pre prepočet platí 1 kWh.kg⁻¹ = 3,6 MJ.kg⁻¹.

Obsah vody výrazne ovplyvňuje výhrevnosť paliva a to nielen zmenšením obsahu sušiny, ale aj spotrebou energie na odparenie. Z toho vyplýva nutnosť predaja paliva s ohľadom na vlhkosť.

Výhrevnosť sa určuje z nasledujúceho vzťahu:

$$Q_i = Q_s - 2,453 \cdot (w + 9 \cdot H_2) \quad [\text{MJ.kg}^{-1}] \quad (9.7)$$

kde Q_i – je výhrevnosť paliva [MJ.kg^{-1}], Q_s – je spálne teplo paliva [MJ.kg^{-1}], w – je energetická (relatívna) vlhkosť paliva [kg.kg^{-1}] a H_2 je obsah vodíka v palive [kg.kg^{-1}].

Hodnota 2,453 w [MJ.kg^{-1}] vyjadruje skupenské teplo potrebné na odparenie vody obsiahnutej v palive (w). Hodnota 2,453.9. H_2 [MJ.kg^{-1}] vyjadruje skupenské teplo obsiahnuté v pare, ktoré vzniklo spálením vodíka obsiahnutého v palive H_2 .

Výhrevnosť paliva je možné určiť aj na základe zjednodušujúceho výpočtu na základe nasledujúceho vzťahu:

$$Q_i = 18,84 - 0,217 \cdot w \quad [\text{MJ.kg}^{-1}] \quad (9.8)$$

resp.

$$Q_i = 5,2 - 0,06 \cdot w \quad [\text{MJ.kg}^{-1}] \quad (9.9)$$

kde w – je energetická (relatívna) vlhkosť paliva [%].

V tabuľke 9.3 sú uvedené výhrevnosti, obsahy popola ako aj teploty topenia popola niektorých druhov biopalív.

Tabuľka 9.3 Výhrevnosť, spálne teplo, obsah popola a teplota tavenia popola v suchom stave (Hartmann, 2003).

Palivo	Výhrevnosť (Q_i)	Spálne teplo (Q_s)	Obsah popola (A)	Teplota tav. popola
	[MJ.kg^{-1}]	[MJ.kg^{-1}]	[kg.kg^{-1}]	[$^{\circ}\text{C}$]
Smrekové drevo s kôrou	18,8	20,2	0,6	1426
Bukové drevo s kôrou	18,4	19,7	0,5	-
Topoľové drevo – krátke výhonky	18,5	19,8	1,8	1335
Vŕbové drevo – krátke výhonky	18,4	19,7	2,0	1283
Kôra s ihličnatého dreva	19,2	20,4	3,8	1440
Žitná slama	17,4	18,5	4,8	1002
Pšeničná slama	17,2	18,5	5,7	998
Tritikale slama	17,1	18,3	5,9	911
Jačmenná slama	17,5	18,5	4,8	980

Pokračovanie tabuľky 9.3 Výhrevnosť, spalné teplo, obsah popola a teplota tavenia popola v suchom stave (Hartmann, 2003).

Palivo	Výhrevnosť (Q_i)	Spalné teplo (Q_s)	Obsah popola (A)	Teplota tav. popola
	[MJ.kg ⁻¹]	[MJ.kg ⁻¹]	[kg.kg ⁻¹]	[°C]
Repková slama	17,1	18,1	6,2	1273
Pšeničné zrno so slamou	17,1	18,7	4,1	977
Tritikale zrno so slamou	17,0	18,4	4,4	833
Zrno pšenice	17,0	18,4	2,7	687
Zrno tritikale	16,9	18,2	2,1	730
Repkové semeno	26,5	-	-	-
Ozdobnica čínska	17,6	19,1	3,9	973
Poľnohospodárske seno	17,4	18,9	5,7	1061
Pasienková tráva	16,5	18,0	8,8	-

V drevárskej praxi je zaužívané vyjadrovanie množstva tepla (výhrevnosti) zo spálenia jednotky objemu dreva na základe objemovej výhrevnosti dreva. Objemová výhrevnosť je daná súčinom výhrevnosti a objemovej hustoty dreva príslušnej dreviny.

Objemovú výhrevnosť pre suché drevo vyjadruje nasledujúci vzťah:

$$Q_p = \rho_o \cdot Q_i \quad [\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (9.10)$$

kde ρ_o – je merná hmotnosť dreva v absolútne suchom stave [kg.m⁻³], Q_i – je výhrevnosť suchého dreva danej dreviny [kJ.kg⁻¹].

Výhrevnosť suchého dreva je pomerne vysoká a pohybuje sa od 18 do 19 MJ.kg⁻¹. Pomerne vysokú výhrevnosť má suchá slama z rôznych druhov obilnín, suché obilniny a traviny, a to v rozsahu 16,5 až 17,5 MJ.kg⁻¹. V skutočnosti však biomasa obsahuje vždy najmenej 10 % vody. Vlhkosť slamy v balíkoch uskladnených v halových skladoch alebo v zakrytých stohoch dosahuje 14 až 16 %. Pri horení sa táto voda odparuje a tým znižuje základnú výhrevnosť sušiny biomasy. Výhrevnosť paliva sa však tiež znižuje s časom, a to vplyvom pôsobenia mikroorganizmov, húb a plesní.

Porovnaním výhrevnosti rôznych druhov biomasy s výhrevnosťou zemného plynu $Q_i = 34 \text{ MJ} \cdot (\text{n})\text{m}^{-3}$ vyplýva, že pri náhrade 1 normovaného (n)m³ zemného plynu, ako paliva, suchým palivom z biomasy je možné nahradiť 1 (n)m³ zemného plynu cca 2 kg paliva z biomasy. Jeden (n) m³ zemného plynu predstavuje množstvo zemného plynu prepočítané na tzv. normované podmienky, ktoré v prípade zemného plynu predstavujú atmosférický tlak 101 325 Pa, teplota zemného plynu 15 °C a relatívna vlhkosť 0 %.

Množstvo popoloviny biomasy sa pohybuje od 0,5 do 8 %. Obsah popola drevnej biomasy je od 0,5 do 2,0 %. V tabuľke 9.4 je uvedená skutočná výhrevnosť dreva a kôry v závislosti od obsahu vody.

Tabuľka 9.4 Skutočná výhrevnosť dreva a kôry v závislosti od obsahu vody (Blažej, 1975).

Obsah vody	Palivo			
	Drevo		Kôra	
[%]	[MJ.kg ⁻¹]	[kWh.kg ⁻¹]	[MJ.kg ⁻¹]	[kWh.kg ⁻¹]
0	18,5	5,1	18,8	5,2
10	16,4	4,6	16,7	4,6
20	14,3	4,0	14,6	4,1
30	12,2	3,4	12,5	3,5
40	10,1	2,8	10,5	2,9
50	8,0	2,2	8,4	2,3
60	6,0	1,7	6,3	1,8

Výhrevnosť dreva závisí predovšetkým na jeho okamžitej vlhkosti a na pomere celulózy a lignínu. Lignín má výhrevnosť 25,5 MJ.kg⁻¹ a celulóza 18,8 MJ.kg⁻¹. Živica má vyššiu výhrevnosť ako vlastné drevo. Výhrevnosť kôry, vetiev a ihličia je preto len o niečo vyššia ako u odkôrneného dreva. Výhrevnosť dreva sa mení v jednotlivých rokoch aj v priebehu roka, a to až o 20 %. Najvyšších hodnôt dosahuje výhrevnosť dreva v druhej polovici leta – v júli a auguste.

Slama poľnohospodárskych kultúrnych plodín, hlavne obilnín a repky, tvorí významný a nádejný zdroj biomasy na energetické účely. V tabuľke 9.5 je uvedená výhrevnosť slamy z obilnín, kukurice a repky pri 10 % vlhkosti (Ochodek, 2006).

Tabuľka 9.5 Výhrevnosť niektorých druhov slamy (Jandačka, 2007 a).

Druh slamy	Vlhkosť [%]	Výhrevnosť [MJ.kg ⁻¹]
Slama z obilnín	10	15,5
Slama z kukurice	10	14,5
Slama z repky	10	16

V tabuľkách 9.6 až 9.8 je uvedený energetický obsah sušiny niektorých druhov poľnohospodárskych plodín, a to hlavného produktu pestovania (zrno), ako aj vedľajšieho produktu (slama).

Tabuľka 9.6 Energetický obsah obilnín a krmovín meraný ako spalné teplo zo sušiny bez odčítania popolovín [MJ.kg^{-1}] (Jandačka, 2007 a).

Obilovina	Produkt		Krmovina	Produkt	
	Hlavný	Vedľajší		Hlavný	Vedľajší
Pšenica jarná	18,098	18,153	Lucerna – II. pokos	18,259	-
Jačmeň jarný	18,237	17,721	Ďatelina červená – I. pokos	17,263	-
Jačmeň ozimný	18,415	18,248	Ďatelina červená – II. pokos	18,180	-
Raž	18,230	17,964	Strukovinová zmeska	17,217	-
Tritikale	18,195	17,222	Reznačka (krmovina)	17,588	-
Ovos	18,809	17,636	Mätonoh trváci (krmovina)	17,695	-
Kukurica na zrno	18,846	17,294	Bôb všeobecný na zeleno	17,679	-
Proso	18,832	17,227	Horčica biela na zeleno	16,699	-
Pohánka	17,751	15,748	Jastrabina východná	20,812	-
-	-	-	Sväzenka vratičoliská	17,978	-
Priemer obilovín	18,379	17,468	Priemer krmovín	17,937	-

Tabuľka 9.7 Energetický obsah okopanín a strukovín meraný ako spalné teplo zo sušiny bez odčítania popolovín [MJ.kg^{-1}] (Jandačka, 2007 a).

Okopanina	Produkt		Strukovina	Produkt	
	Hlavný	Vedľajší		Hlavný	Vedľajší
Cukrová repa	16,467	15,339	Sója	22,225	17,844
Slničnica hl'uznatá	16,344	15,711	Bôb	18,283	-
	-	-	Fazuľa	18,654	-
	-	-	Šošovica	18,739	-
Priemer okopanín	16,406	15,525	Priemer strukovín	19,475	-

Tabuľka 9.8 Energetický obsah olejnin a ostatných plodín meraný ako spalné teplo zo sušiny bez odčítania popolovín [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] (Jandačka, 2007 a).

Olejnína	Produkt		Ostatné plodiny	Produkt	
	Hlavný	Vedľajší		Hlavný	Vedľajší
Mak	26,901	18,318	Hyso	17,894	-
Ľan	25,857	18,292	Čirok zrnový	17,834	-
Repka ozimná	27,832	17,484	Krídlatka	19,137	-
Horčica biela	25,123	17,750	Rákos	18,387	-
Saflor	24,925	17,776	Topoľovka	17,578	-
Katran	24,679	17,515	Chrastica	17,343	-
Lnička	26,365	18,840	Pajasan	18,842	-
Koriander	22,815	18,020	Topoľ	20,118	-
Konope	22,256	18,570	Vrba	19,954	-
Priemer obilnín	25,194	18,062	Priemer ostatných plodín	18,565	-

Väčšina poľnohospodárskych biopalív má nízky bod mäknutia, tavenia a tečenia popola (obilná slama) alebo veľkú produkciu emisií CO (krmny štiav a väčšina trávovín) a takmer vo všetkých sa vyskytuje vysoký obsah popolovín (cca 5 %). To sú nepriaznivé vlastnosti, ktoré drevná biomasa, pelety a brikety z odpadového dreva nemajú. Jednou z možností, ako vyššie uvedené nepriaznivé vlastnosti eliminovať, je vytvoriť z energetických plodín a prípadných ďalších komponentov zmes o určitom pomere.

9.1.5. Merná a sypná hmotnosť paliva

Merná hmotnosť paliva (ρ) je hmotnosť jednotkového objemu paliva. Vyjadruje sa v [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]. Merná hmotnosť vždy závisí od vlhkosti a preto rovnaká drevina má pri rôznej vlhkosti rôznu mernú hmotnosť. Z tohto dôvodu je potrebné pri vyjadrovaní mernej hmotnosti poznať aj vlhkosť.

Množstvo sypkej biomasovej hmoty nachádzajúcej sa v priestore 1 m^3 sa vyjadruje prostredníctvom sypnej hmotnosti. Sypná hmotnosť (ρ_s) je definovaná ako pomer hmotnosti častíc sypkej biomasovej hmoty (m) a objemu (V_s), ktorý sypká hmota zaujme voľným sypaním. Sypná hmotnosť je závislá od vlastností sypného materiálu, najmä od druhu biomasy, zrnitosti, vlhkosti, spôsobu sypania, prípadne od zhutnenia, ktoré môže byť dosiahnuté striasaním, vibráciami, či stláčaním (Ochodek, 2006).

Z dôvodu, že na hmotnosť dreva do značnej miery vplýva vlhkosť, sa množstvo palivového dreva v praxi nestanovuje na základe hmotnosti, ale na základe jeho objemu, a to objemom 1 m^3 . Je však treba rozlišovať tri jeho vyjadrenia:

- 1 plm – plnomet (pevný meter), je objem 1 m³ drevnej hmoty. Objem 1 x 1 x 1 m je vyplnený iba drevnou hmotou.
- 1 prm – priestorový meter, predstavuje objem 1 m³ uloženého dreva. Objem 1 x 1 x 1 m je vyplnený drevom a medzerami, ktoré sú vytvorené vplyvom „kruhového“ prierezu dreva.
- 1 prms – sypný meter, predstavuje objem 1 m³ voľne sypaného (nezhutneného) drobného dreva, štiepky, pilín, peliet.

Vzájomný prepočet medzi vyjadreniami objemu drevnej hmoty je uvedený v tabuľke 9.9.

Tabuľka 9.9 Vzájomný prepočet medzi vyjadreniami objemu drevnej hmoty (Ochodek, 2006).

Jednotky	plm	prm	prms
plm	1,00	1,43	2,43
prm	0,70	1,00	1,70
prms	0,41	0,59	1,00

Obilniny patria medzi rastliny, z ktorých je možné využívať na energetické účely ako slamu, tak i obilie, resp. celú rastlinu. V tabuľke 9.10 je uvedený prepočet množstva slamy k množstvu vyprodukovaného zrna.

Tabuľka 9.10 Pomer zrna ku slame (Ochodek, 2006).

Plodina	Pomer zrno : slama
Pšenica	1 : 1,85
Žito	1 : 1,7
Jačmeň	1 : 0,8
Ovos	1 : 1,4
Kukurica na zrno	1 : 1,2
Repka olejná	1 : 1,2 až 1,8

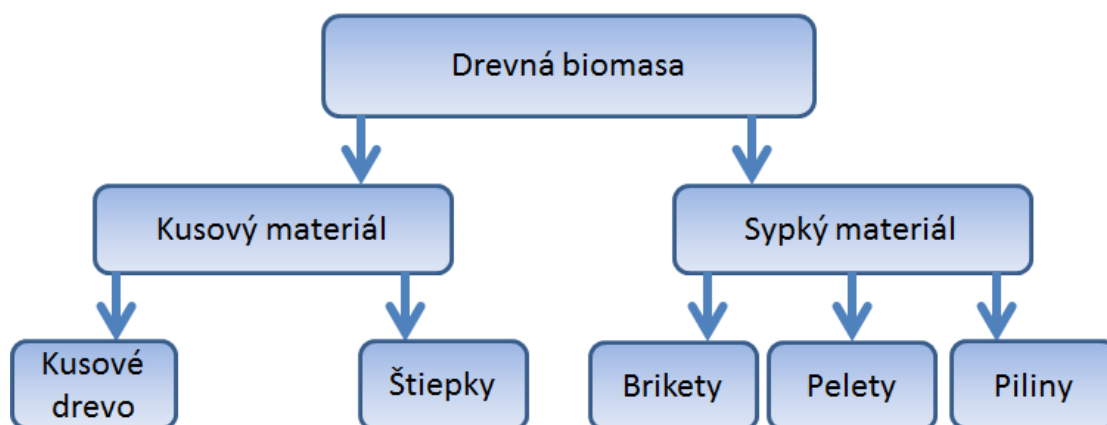
9.2. Zušľachtovanie biomasy na energetické účely

Biomasu využívanú na výrobu tepelnej resp. elektrickej energie možno využívať buď priamo v neupravenej forme alebo v upravenej tzv. zušľachtenej forme.

9.2.1. Zušľachtovanie dendromasy

Pri ťažbe a spracovaní dreva v lese, resp. v drevospracujúcom priemysle vzniká veľké množstvo odpadu, či už vo forme haluzoviny, resp. pilín. Uvedené odpady sú charakteristické veľkou sypnou hmotnosťou. Pri jeho priamom využití v energetickom

sektore dochádza vo väčšine prípadov k technickým a ekonomickým problémom, ktoré sú spojené so zvýšenými nákladmi na prepravu a skladovanie. Z toho dôvodu je možné tento problém vyriešiť jeho zušľachtením, ktoré spočíva v nahustení resp. zlisovaní daného odpadu, čo má za dôsledok zmenšenie sypnej hmotnosti zušľachtenej formy odpadu. Zušľachtenie odpadov z dreva má za cieľ zvýšiť hospodárnejšie využitie týchto odpadov v rámci energetiky. Zušľachtovanie odpadov sa realizuje použitím vhodných zariadení, pričom ich prevádzkovanie je spojené s určitými investičnými a prevádzkovými nákladmi, čo sa prejaví na cene zušľachtenej formy odpadu. Zušľachtená forma dreveného odpadu môže byť vo forme štiepky, brikiet a peliet. Na obr. 9.6 sú uvedené formy drevenej biomasy využívanej na výrobu tepelnej resp. elektrickej energie.



Obr. 9.6 Formy drevenej biomasy (Jandačka, 2007 b).

Drevená štiepka má vlastnosti palivového dreva. Štiepky sa vyrábajú z drevených odpadov, napríklad z preredovania porastov alebo konárov. Dĺžka lesnej štiepky sa pohybuje v rozmedzí 5 až 50 mm (v smere vlákien), šírka od 5 do 30 mm a hrúbka od 5 do 15 mm. Častice väčších rozmerov sú prípustné do 3 % a menších rozmerov do 10 % hmotnosti štiepok v prirodzenom stave vlhkosti. Výhodou štiepky je, že rýchlejšie schne, a tiež umožňuje automatickú prevádzku kotlov pri použití zásobníka a dopravníka paliva. Optimálna relatívna vlhkosť drevených štiepok na spaľovanie je 30 až 35 % pri spaľovacích zariadeniach vybavených stupňovitým roštom. Ak sú štiepky príliš suché, má proces horenia explozívny charakter a veľká časť tepelnej energie môže uniknúť prostredníctvom horúcich dymových plynov do atmosféry pri použití nevhodnej konštrukcie kotla.

Z drevených odpadov vhodnej zrnitosti a vlhkosti sa v briketovacom lise za vysokého tlaku (asi 31,5 MPa) a teploty (kedy sa plastifikovaný lignín stáva spojivom), vyrábajú brikety. Lisovaním sa dosahuje vysoká hustota ($1\,200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), čo je dôležité pre objemovú minimalizáciu paliva. Vysoká výhrevnosť ($19\text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) je zárukou nízkych nákladov na vykurovanie. Brikety sa vyznačujú nízkym obsahom síry (asi 0,07 %), nízkou popolnosťou (0,5 %), neobmedzenou skladovateľnosťou, bezprašnosťou a jednoduchou manipuláciou. Drevené brikety sa vyznačujú i rôznorodosťou vyrobených tvarov (Židek, 2006). Na obr. 9.7 sú znázornené niektoré typy drevených brikiet.



Obr. 9.7 Drevné brikety (Jandačka, 2007 b).

Drevné pelety (obr. 9.8) sú forma dreveného paliva. Je to valček s priemerom 6 – 10 mm a dĺžkou 10 – 40 mm vyrobený z drevenej suroviny (hoblín, pilín) lisovaním, tzv. peletizáciou, zvyčajne bez chemických prísad. Je to moderná forma zhutňovania biomasy, ktorá ponúka zaujímavé možnosti pre rozvoj obnoviteľných zdrojov energie na celom svete. V používanej zhutňovanej biomase prevládajú drevné zvyšky, ktoré sa inak nespracujú a pritom obsahujú veľké množstvo energie. Stromy sa zámerné neťažia len kvôli ich výrobe. Výhodou peliet je ich nízky obsah vlhkosti – približne 8 – 10 %. Majú relatívne vysokú hustotu materiálu, minimálne 650 kg.m^{-3} , v dôsledku čoho majú aj vysokú výhrevnosť až do 20 MJ.kg^{-1} , čo umožňuje spaľovať ich s veľmi vysokou účinnosťou. Týmito vlastnosťami sa približujú tradičným palivám, ako je uhlie. Ich pravidelná geometria a malá veľkosť umožňujú automatickú, prípadne automatizovanú prevádzku s veľmi rozsiahlou reguláciou výkonu. Ku horáku môžu byť jednoducho privádzané závitovou alebo pneumatickou dopravou. V súčasnosti je veľa zdrojov tepla kompatibilných s peletami. To platí aj pre lokálne zdroje tepla (krby, kachle). Ich výhodou je, že vyžadujú zriedkavejšie sledovanie na rozdiel od tradičných zdrojov tepla. Pri spaľovaní drevených peliet vzniká menšie množstvo popola a emisií, ktoré majú negatívny vplyv na ľudí a životné prostredie v porovnaní so spaľovaním iných palív. Vzhľadom na ich vysokú hustotu je možné ich kompaktné uskladnenie a ich racionálna preprava na relatívne dlhé vzdialenosti. Do spotrebiteľovho skladu paliva môžu byť nafúkané hadicou z cisterny, prípadne prinesené vo vreciach. V porovnaní s uhlím je práca s nimi oveľa čistejšia (Židek, 2006).



Obr. 9.8 Drevné pelety (Jandačka, 2007 b).

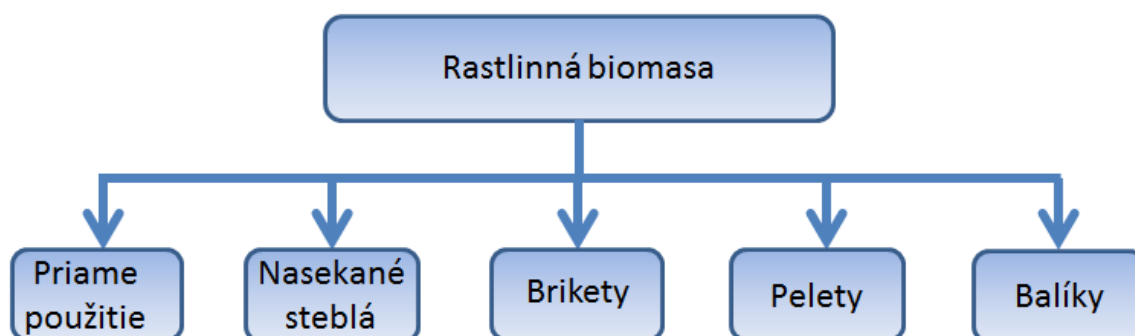
9.2.2. Zušľacht'ovanie fytomasy

Obilniny pestované na energetické účely majú svoje prednosti v tom, že môžu produkovať biomasu bez väčších investícií do novej techniky. Je možné využívať techniku používanú pre iné klasické plodiny. Rozšírené pestovanie obilnín je preto jednou z najvýhodnejších variant pre ciele pestovanie na energetické a priemyselné účely.

Slama, ktorá je vedľajším produktom z poľnohospodárskej činnosti, predstavuje vymlátené vyschnuté stonky a stebľá, v širšom význame zo všetkých poľných rastlín, a v užšom význame iba z obilnín. Obilná slama sa čiastočne využíva ako podstielka v živočíšnej výrobe ale veľké množstvo slamy sa postupne znehodnocuje priamo na poliach. Repková slama nie je vo väčšine prípadov vhodná na kŕmenie ani na podstielanie zvierat a z tohto dôvodu sa dokonca stáva určitým druhom odpadu, ktorý je možné využiť pre energetické účely (priame spaľovanie).

U obilnín je nutné zohľadniť hnojivú hodnotu slamy. Podľa väčšiny odborníkov je bez negatívneho vplyvu na úrodnosť pôdy možné z kolobehu živín „odoberať“ 25 až 33 % každoročne pozberanej slamy a použiť ju pre priemyselné a energetické účely.

Biomasu z energetických rastlín produkovaných na výrobu tepelnej, resp. elektrickej energie je možné využívať buď priamo v neupravenej forme alebo v upravenej (zušľachtenej) forme ako sú pelety, brikety, stlačené balíky prípadne sečka (Ochodek, 2007). Na obr. 9.9 sú uvedené niektoré formy fytomasy.



Obr. 9.9 Formy rastlinnej biomasy (Jandačka, 2011 a).

Nasekané stebľá energetických rastlín (napríklad slamy) sú podrvené na frakcie s veľkosťou 2 – 50 mm. Obyčajne vznikajú drvením balíkov energetických rastlín v drviči – rozrušovači. Technológia spaľovania drvených stebiel umožňuje nepretržitú dodávku tepla s možnosťou jemnej regulácie. Taktiež je táto technológia vhodná okrem vykurovania aj na ohrev vzduchu v sušiarstve.

Balíky stebiel energetických rastlín (slamy) vznikajú po zbere na poli pomocou rôznej poľnohospodárskej techniky. Vďaka tomu je umožnená ľahšia manipulácia a transport. Tieto balíky môžu mať rôzne rozmery a tvary, najmä vo forme kvádrov alebo valcov. V niektorých krajinách je táto technológia využitia slamy veľmi rozšírená. V závislosti na hodnote použitého lisovacieho tlaku sa merná hmotnosť pohybuje v rozsahu od 60 do 150 kg.m⁻³ a veľké balíky slamy môžu dosahovať hmotnosť až 500 kg. Ich spaľovanie prebieha v kotloch na spaľovanie balíkov. Kotol má prerušovanú prevádzku

a do spaľovacej komory sa vkladajú balíky slamy od jedného malého balíka o hmotnosti okolo 12 kg, až po niekoľko veľkých hranatých balíkov o hmotnosti 300 – 500 kg. Po zhorení balíka sa do kotla vkladá ďalší balík. Spaľované stebľa ohrievajú vodu v akumuláčnej nádrži, ktorá zabezpečuje cez výmenník tepla vykurovanie (Ochodek, 2007).

Brikety zo stebiel (obr. 9.10), ktoré sú určené pre kotly, krby a kúreniska s ručným prikladáním o tepelnom výkone nad 25 kW, sa vyrábajú zo suchých drvených alebo nakrátko narezaných stebiel (do 5 cm) slamy obilnín, olejní, tráv a energetických rastlín a zo semien a pliev s obsahom vody 8 až 14 %. Lisovaním pod veľkým tlakom vznikajú valčeky, hranolčeky alebo šesťsteny o priemere 40 až 100 mm a dĺžkou do 300 mm. Merná objemová hmotnosť brikiet je 1 až 1,2 kg.dm⁻³ a výhrevnosť sa pohybuje okolo 16,5 MJ.kg⁻¹ (u slamy olejní dosahuje výhrevnosť hodnotu až 19 MJ.kg⁻¹). Obsah popola je asi 5 až 6 %.



Obr. 9.10 Brikety vyrobené zo slamy (Jandačka, 2011 a).

Pelety zo stebiel (slamy) (obr. 9.11) sú vhodným palivom pre automatické kotly s tepelným výkonom nad 25 kW. Počiatočnou surovinou sú suché, drvené stebľa (slama olejní, trávín, energetických rastlín a odpady z čističiek obilnín), s obsahom vody 8 až 15 %, ktoré sú pod veľkým tlakom zlisované do tvaru valčekov o priemere 6 až 20 mm (s výnimkou hranolov do 40 mm). Dĺžka peliet sa pohybuje od 10 do 50 mm. Merná objemová hmotnosť je 1 až 1,2 kg.dm⁻³, niekedy i 1,4 kg.dm⁻³. Sypná hmotnosť je v rozmedzí 550 až 600 kg.m⁻³ a výhrevnosť dosahuje hodnoty 16,5 až 17,5 MJ.kg⁻¹. Slama olejní dosahuje výhrevnosť až 19 MJ.kg⁻¹. Obsah popola je 5 až 6 %.

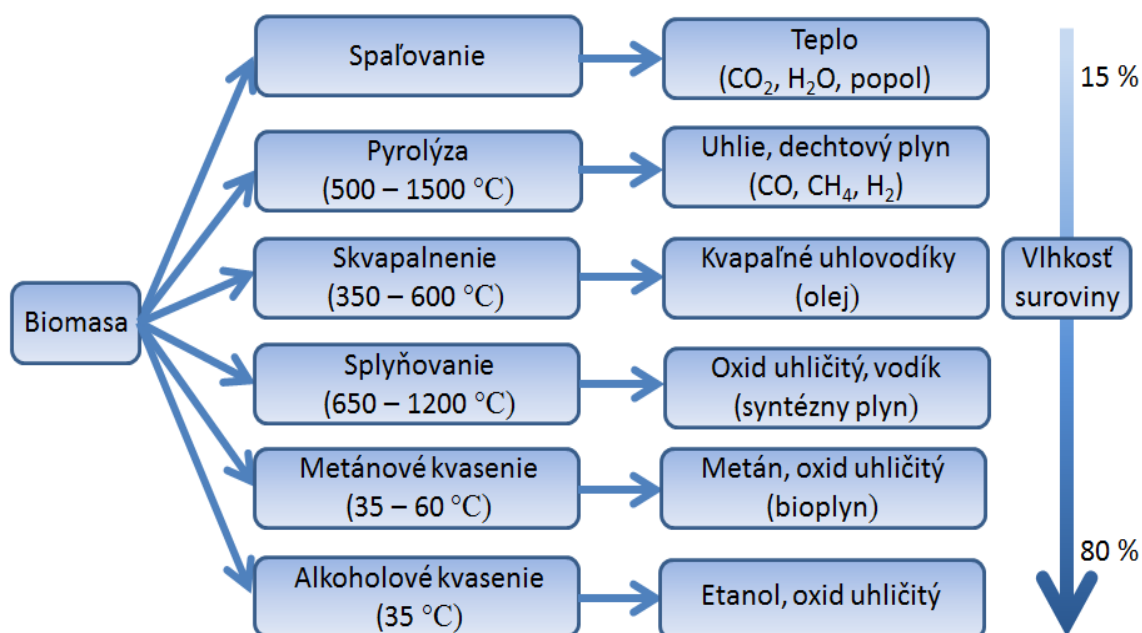


Obr. 9.11 Pelety vyrobené zo stebiel slamy (Jandačka, 2011 a).

9.3. Spracovávanie biomasy na energetické účely

Spôsob získavania energie z biomasy je podmienený jej fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami. Zásadný vplyv na spracovanie biomasy má predovšetkým množstvo vody a sušiny v biomase. Práve na základe tohto hľadiska sa rozlišujú mokré a suché procesy spracovania biomasy, pričom približná hranica medzi mokrými a suchými procesmi je hodnota 50 % sušiny.

Biomasa s vysokým obsahom vody je najvhodnejšie spracovávať kvasením, biomasa s nízkym obsahom vody je vhodná pre spaľovanie alebo suchú destiláciu. Rozloženie možného využitia biomasy podľa obsahu vody v spracovanej surovine je schematicky znázornené na obr. 9.12.



Obr. 9.12 Spôsoby využitia biomasy podľa vlhkosti obsiahnutej v surovine (Jandačka, 2011 a).

Pre získavanie energie z biomasy je možné využiť nasledujúce premeny energetického potenciálu biomasy:

- Termochemické premeny biomasy (spaľovanie, pyrolýza, splyňovanie).
- Biochemické premeny biomasy (alkoholové kvasenie, metánové kvasenie, kompostovanie).
- Chemické premeny biomasy (esterifikácia surových rastlinných olejov).

9.3.1. Termochemické premeny biomasy

Termochemickými procesmi sa v praxi nazývajú technológie, ktoré pôsobia na materiál teplotou, presahujúcou medzi jeho chemickou stabilitou. Táto všeobecná definícia zahŕňa veľmi široké rozmedzie teplôt používaných v jednotlivých technológiách (300 až 2 000 °C), pričom nie je braná do úvahy chemická povaha prebiehajúcich dejov.

Z tohto dôvodu môžu byť termické procesy ďalej rozdelené do dvoch kategórií:

- Procesy oxidatívne, kedy je v reakčnom priestore obsah kyslíka stechiometrický alebo vyšší vzhľadom k spracovávanému materiálu (nízkoteplotné a vysokoteplotné spaľovanie).
- Procesy reduktívne (termolýzne), kedy je v reakčnom priestore obsah kyslíka nulový alebo substechiometrický a nepridávajú sa tam ani ďalšie reakčné činidlá alebo katalyzátory (pyrolýza a splyňovanie).

K tomuto rozdeleniu je však potrebné dodať, že niektoré, najmä splyňovacie procesy nepoužívajú ako oxidačné médium molekulárny kyslík, ale iné oxidanty, predovšetkým CO_2 a H_2O . Polysacharidy a lignín sa vplyvom termolytických reakcií premieňajú na tri základné produkty, a to na uhlie, kondenzát (pyrolýza) a plyny (splyňovanie).

Spaľovanie biomasy

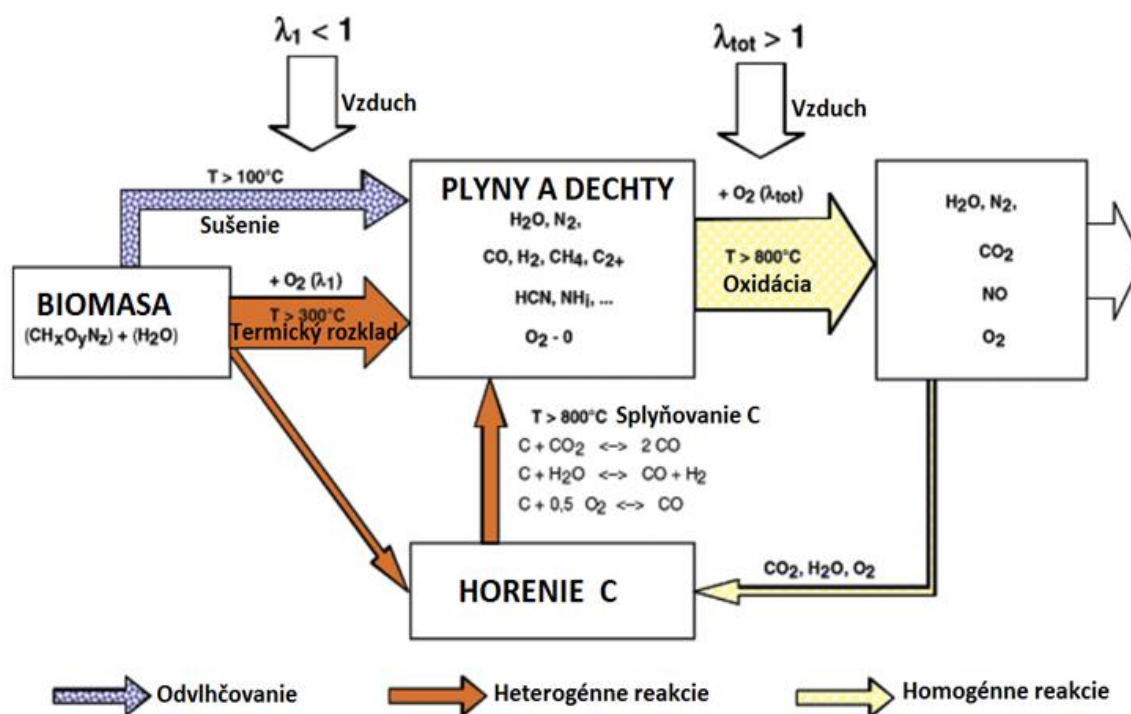
Najjednoduchším spôsobom ako získať tepelnú energiu z biomasy je jej priame spaľovanie. Spaľovať je možné drevo vo forme polien, štiepky, brikiet a peliet, ale tiež slamu obilnín a olejní, energetické rastliny vo forme balíkov a brikiet. Dokonalé spaľovanie si však vyžaduje správne množstvo privádzaného vzduchu. Pri nedostatočnom prísune vzduchu sa vytvárajú podmienky pre nedokonalé spaľovanie, pri ktorom ostávajú v spalinách nevyužitú horľavé zložky a jeho produktom bývajú rôzne nebezpečné látky (oxid uhoľnatý, kyanovodík, metán) (Dzurenda, 2010).

Proces spaľovania biomasy možno z hľadiska postupnosti rozdeliť do štyroch fáz, ktoré sú v niektorých spaľovacích zariadeniach dobre rozlíšiteľné, v iných spaľovacích zariadeniach sa tieto procesy časovo a lokálne z časti prekrývajú.

Proces spaľovania je možné popísať nasledovnými štyrmi fázami (obr. 9.13):

- 1) Ohrev a sušenie biomasy.
- 2) Termický rozklad zložiek biomasy.
- 3) Horenie prchavých zložiek.
- 4) Horenie pevných zložiek.

Ohrev paliva sa realizuje vplyvom žiarenia plameňa a od rozpálených stien. Následné sušenie paliva a odparovanie vody z paliva sa deje pri teplotách od cca 100 °C, pričom odparená voda je odvádzaná spoločne so spalinami do komína. Pri teplotách cca od 150 °C dochádza k pyrolytickému rozkladu suchého paliva. Vplyvom privedenia primárneho spaľovacieho vzduchu dochádza pri teplotách cca 250 °C k splyňovaniu vysušeného paliva na horľavé plyny, ako sú oxid uhoľnatý (CO) a uhl'ovodíky (CXHY), pričom vznikajú tuhé zvyšky paliva, tzv. pevný uhlík (C). Drevo obsahuje viac vodíka ako väčšina iných palív, preto vzniká pri jeho spaľovaní podstatne viac uhl'ovodíkov. Poslednou fázou procesu spaľovania biomasy je horenie pevného uhlíka (C) za prítomnosti kyslíka, ktoré prebieha pri teplotách cca od 600 °C, pričom ako odpad vzniká popol. Okysličovanie horľavých plynov s kyslíkom na kysličník uhličitý a vodu sa uskutočňuje pri teplotách od cca 700 °C (Jandačka, 2020).



Obr. 9.13 Proces spaľovania biomasy (Jandačka, 2020).

Všetky vyššie uvedené deje môžu prebiehať v každom mieste spaľovacieho procesu za iných pomerov (lokálne rozdiely teplôt, rýchlosti prúdenia, obsah kyslíka a podobne). Preto spaľovací priestor s horiacou biomasou možno považovať za zložitý chemický reaktor, v ktorom sa prejavujú rôzne vplyvy chemickej, termodynamicky reakčnej kinetiky a prípadne i katalýzy (popolovín, výmurovky).

Kvalita horenia v uzavretom priestore závisí najmä od teploty, spôsobu oddelenia jednotlivých fáz horenia, dôkladnosti premiešania horľavých plynov s kyslíkom pri potrebnej reakčnej teplote, prebytku vzduchu a spôsobu jeho rozdelenia na primárny a sekundárny (Dzurenda, 2010).

Spaľovací proces je možné analyzovať z hľadiska statického a dynamického procesu spaľovania.

Statika spaľovania sa zaoberá materiálými a energetickými bilanciami procesu spaľovania paliva a taktiež analyzuje vlastnosti látok vstupujúcich do procesu spaľovania a vystupujúcich z procesu spaľovania. Do tejto oblasti sa okrem iného zahŕňa stanovenie spotreby paliva a spaľovacieho vzduchu, teploty plameňa, množstva uvoľneného tepla a množstva vzniknutých spalín.

Dynamika spaľovania sa zaoberá fyzikálnymi a chemickými dejmi spaľovacieho procesu v závislosti na čase.

Z hľadiska spaľovania slamy je najdôležitejšou vlastnosťou jej rýchla a ľahká splyňovateľnosť. Pri teplotách okolo 200°C sa slama z cca 80 % splyňuje, čo ju odlišuje nielen od ostatných pevných palív, hlavne koksu, ktorý má podiel horľaviny len 4 %, ale aj dreva, ktoré má podiel horľaviny okolo 70 %. Veľký vývin horľavých plynov,

zabraňujúcich vnikanie vzdušného kyslíka a tým aj ich dokonalému prehoreniu, vyžaduje celkom odlišné prevedenie kúreniska s dobre premyslenými prívodmi primárneho, sekundárneho vzduchu a u veľkých zariadení aj terciálneho vzduchu a veľkými dohorievacími priestormi pred teplonosnými plochami. Ďalšou vlastnosťou slamy je, že jej popol, tvorený ľahko tavitelnými minerálmi, predovšetkým uhličitanom draselným, uhličitanom vápenatým a kysličníkom kremičitým, začína mäknúť pri teplotách okolo 830 °C. Pri teplotách 850 až 900 °C sa ľahko vytvára sklovitá hmota, ktorá nielen poškodzuje výmurovku kúreniska, ale je aj ťažko odstrániteľná. Tomuto javu sa zabraňuje dvojstupňovým horením, kde sa v prvej časti slama splyňuje a až v druhej časti spalné plyny, bez vplyvu na popol, za prístupu sekundárneho vzduchu, prehorievajú pri vyššej teplote.

Štruktúra slamy je príčinou úletu jemného popolčeka. Ten je tvorený jednak nespálenými alebo zuhoľnatenými drobnými časticami slamy a jednak popolovinami, ktoré majú snahu sa čiastočne lepiť na teplovýmenné plochy a čiastočne odlietať do ovzdušia. Preto je veľmi dôležité, aby sa slama počas celého procesu spaľovania nedotkla keramiky, pretože vznikajúcimi usadeninami sa výmurovka znehodnocuje. Veľmi dôležitý je aj riadený odťahový ventilátor.

Vlastnosti slamy ako paliva ovplyvňujú aj hranicu použiteľnosti v určitých výkonových triedach kotlov. Vývoj ukázal, že zatiaľ čo briketovaná a peletovaná slama, ktorá formou i hmotnosťou pripomína uhoľnaté palivo, sa môže spaľovať v kotloch od tepelného výkonu okolo 25 kW. V malých kúreniskách sa peletovaná slama spaľuje veľmi zle, lebo pelety sa obalia popolom a zhasínajú. U väčších výkonov je vcelku neekonomické spaľovať briketovanú alebo peletovanú slamu, pretože cena brikiet a peliet je mnohonásobne vyššia ako cena rozdrvenia. Rozdrvenú a pomletú slamu je vhodné spaľovať od tepelného výkonu cca 200 kW.

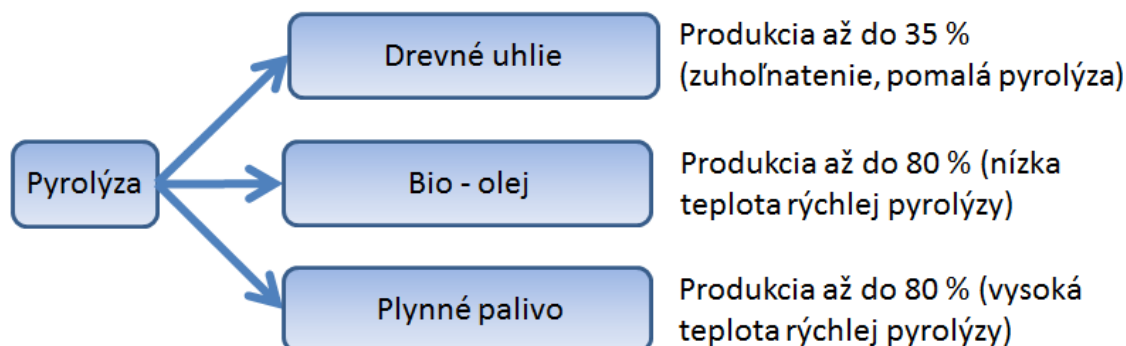
Pyrolýza biomasy

Tepelný rozklad biomasy pri teplotách cca 500 až 800 °C, a to bez prístupu vzduchu, pričom sa uvoľňuje zmes horľavých plynov alebo kvapalín a vzniká tuhý zvyšok (drevné uhlie), sa nazýva pyrolýza. Produktom pyrolýzy tak môže byť horľavý plyn alebo kvapalné uhľovodíky (bioolej), ktoré je možné získať následným ochladením pyrolýzneho plynu.

Z predchádzajúceho je zrejmé, že jedným z možných produktov pyrolýzy by mohol byť horľavý plyn. Takáto technológia sa obyčajne využíva u špeciálnych pyrolýznych spaľovní kontaminovaných odpadov. Druhým možným produktom pyrolýzy sú kvapalné uhľovodíky (ľahký dechtový olej), ktoré je možné vyrobiť ochladzovaním produktov tzv. rýchlou pyrolýzou.

Rýchla pyrolýza je vysoko teplotný proces, pri ktorom malé častice z biomasy sú za neprítomnosti kyslíka rýchlo zahriate, čo spôsobuje rozklad biomasy na pary, aerosóly a uhľovodíky. Touto rýchlou pyrolýzou sa výrazne zväčší podiel pyrolýzneho plynu, ktorý pri ochladzovaní kondenzuje na kvapalné palivo – bioolej. Výhrevnosť biooleja dosahuje asi polovicu výhrevnosti tradičného palivového oleja a môže byť náhradou za súčasný olej používaný v spaľovacích systémoch alebo motoroch pre získavanie tepla

alebo elektrickej energie. Ďalším spracovaním oleja hydrogenáciou alebo použitím katalyzátora sa získa vysokokvalitný produkt, ktorý sa špecifikáciou blíži petroleju (odvodené palivové oleje), a ktorý môže byť použitý v dieselových motoroch. Možné produkty pyrolýzy sú znázornené na obr. 9.14.

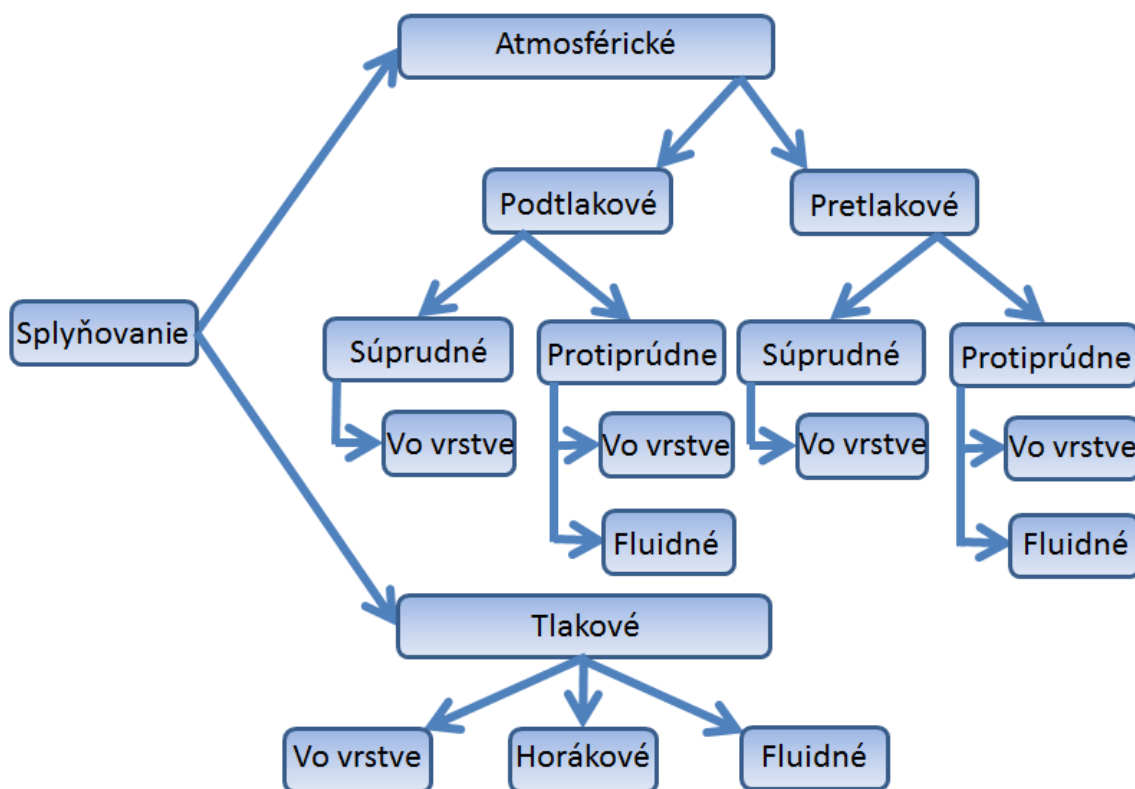


Obr. 9.14 Možné produkty pyrolýzy (Jandačka, 2007 b).

Splyňovanie biomasy

Splyňovanie je vysoko teplotný termochemický proces uskutočňovaný za prítomnosti malého množstva kyslíka (menej ako vyžaduje dokonalé spaľovanie). Výsledkom tohto procesu je vznik zmesi horľavých plynov zložených hlavne z oxidu uhoľnatého, vodíka, metánu a oxidu uhličitého. Ak by sa pri splyňovaní využíval iba čistý kyslík, zmes plynov by dosahovala vyššiu výhrevnosť. Bežne sa však pri splyňovaní biomasy využíva vzduch, ktorý je príčinou vzniku zmesi plynov zriedených dusíkom, čo sa práve prejavuje na výslednej výhrevnosti plynu.

Zloženie plynu je určené kombináciou bilancie konštant rýchlosti chemických reakcií v závislosti na predpokladaných teplotách v reakčnej zóne. Výsledkom splyňovania je plynné palivo, ktoré je po odstránení vody, resp. vodnej pary v plyne, a po jeho čistení, vhodné pre spaľovanie, na pohon plynových motorov alebo plynových turbín slúžiacich na výrobu elektrickej energie. Vzhľadom na to, že ide o plyn s veľmi nízkou výhrevnosťou ($5 - 6 \text{ MJ.m}^{-3}$), musí sa použiť špeciálne upravené zmiešavacie zariadenie (plyn – vzduch). Produktom čistenia (prania) surového plynu je tekutý odpad – fenolové vody, ktoré je možné zneškodniť v špeciálnych čistiarňach odpadových vôd. Delenie technológie splyňovania je znázornené na obr. 9.15.



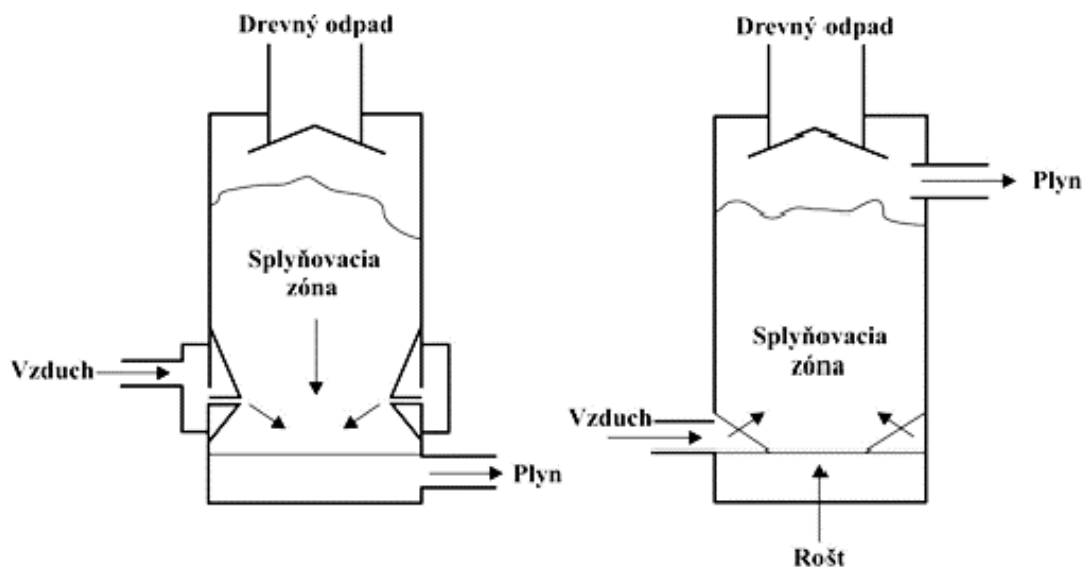
Obr. 9.15 Rozdelenie technológie splyňovania (Jandačka, 2007 b).

Splyňovacie zariadenia (reaktory) môžu byť v troch základných vyhotoveniach, a to v súprúdnom, protiprúdnom a fluidnom.

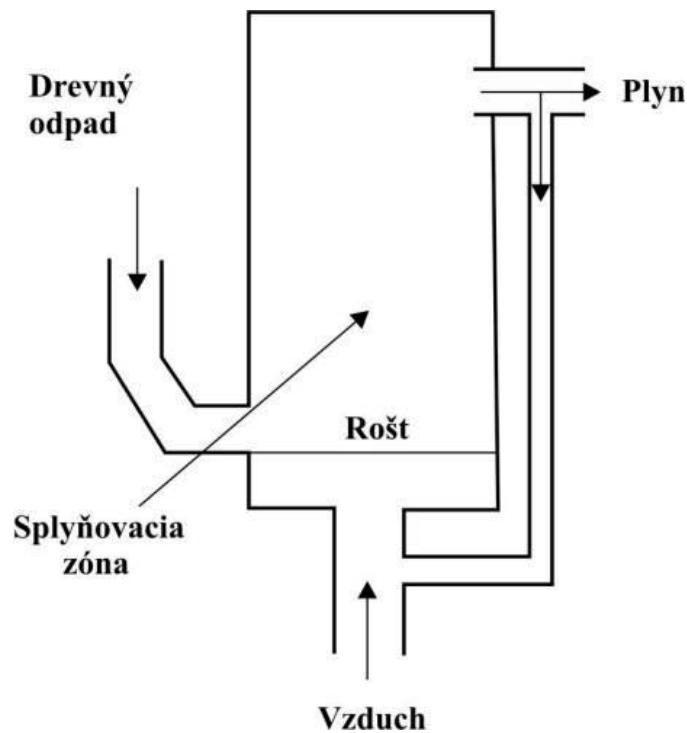
Súprúdný splyňovací reaktor (obr. 9.16 vľavo) je svojím princípom „horúceho roštu“ a redukčne horúcej zóny odplyneného paliva podstatne konštrukčne i prevádzkovo náročnejší ako reaktor protiprúdný. Neumožňuje efektívne používať fluidnú technológiu splyňovania paliva, umožňuje však výrazným spôsobom znížiť produkciu ťažkých uhl'ovodíkových zlúčenín (dechtu). Práve produkcia dechtu pri splyňovaní pevného paliva je obmedzujúcim faktorom pre priame použitie získaného plynu v plynovom motore bez ďalšej náročnej technológie úpravy a čistenia (Dzurenda, 2010).

Protiprúdný splyňovací reaktor (obr. 9.16 vpravo) je väčšinou jednoduchej konštrukcie. Plyn produkuje veľmi nízku výhrevnosť, najmä pri splyňovaní dreveného odpadu s vyšším obsahom vody. Hlavným problémom využitia tohto spôsobu je čistenie produkovaného plynu, ktorý je zaťažený vysokým obsahom dechtu. Častý spôsob čistenia – pranie vodou, vedie k produkcii fenolových vôd, ich čistenie je zložitejší problém ako vlastná výroba plynu.

Vo fluidnom splyňovacom zariadení (obr. 9.17) dochádza ku vznášaniu pevných častíc paliva dynamickým pôsobením splyňovacieho média. Vplyvom tohto javu dochádza k zmene niektorých fyzikálnych vlastností splyňovanej vrstvy.



Obr. 9.16 Súprudné (vľavo) a protiprúdne (vpravo) usporiadanie reaktora (Dzurenda, 2010).



Obr. 9.17 Fluidné usporiadanie reaktora (Dzurenda, 2010).

Splyňovacia vrstva nevytvára sypný uhol, pôsobí na steny nádoby hydrostatickým tlakom a je možné ju prepúšťať z jednej nádoby do druhej. Tým dochádza k veľmi intenzívnemu miešaniu častíc vrstvy a k intenzívnemu prechodu hmoty medzi časticami a médiami. Vyrobený plyn sa vyznačuje vyšším obsahom pevných častíc vplyvom unášacieho účinku splyňovacieho média (Dzurenda, 2010).

9.3.2. Biochemické premeny biomasy

Alkoholové kvasenie

Z rastlín obsahujúcich cukry a škrob je možné organickou fermentáciou v mokrom prostredí a následnou destiláciou získať vysokopercentný alkohol (etanol).

Teoreticky je možné z 1 kg cukru získať 0,65 litra čistého etanolu. V praxi sa však dosahuje výťažnosť 90 až 95 %, pretože okrem etanolu vznikajú i ďalšie produkty ako je napríklad glycerol. Na výrobu etanolu je vhodný celý rad rastlín, napríklad obilie, zemiaky, kukurica, cukrová trstina, cukrová repa a ovocie.

Ak sa bioetanol vyrába z obilia alebo kukurice, je nutné scukornatenie, ku ktorému dochádza pôsobením enzýmov za zvýšenej teploty prípadne i tlaku. Škrob obsiahnutý v obilí sa prevedie na skvasiteľný sacharid, prevažne na glukózu. Ak sa bioetanol vyrába z cukrovej repy alebo cukrovej trstiny, proces scukornatenia sa nevyžaduje.

V ďalšom kroku dochádza vo fermentačných reaktoroch pôsobením kvasiniek ku skvasovaniu pripravenej zápary, pričom vzniká etanol, oxid uhličitý a ďalšie vedľajšie látky (organické kyseliny, aldehydy, ketóny, metanol, vyššie alkoholy, estery a glycerol). Skvasená zápara sa následne podrobuje destilácii, pri ktorej sa získava surový etanol a destilačný zvyšok (výpalky). Bioetanol, ktorý sa má použiť ako motorové palivo, sa podrobuje čisteniu, pri ktorom sa odstraňujú vedľajšie látky, ktoré môžu negatívne pôsobiť na palivový systém motora a nepriaznivo ovplyvňovať odvodňovanie etanolu. Získaný bioetanol, ktorý obsahuje maximálne 95,5 % hm. etanolu, sa ďalej odvodňuje, pretože bioetanol určený ako motorové palivo musí byť bezvodý.

Metánové kvasenie – anaeróbna fermentácia

Spracovanie organických látok so súčasným vznikom bioplynu sa nazýva anaeróbna fermentácia, (metanogénne kvasenie – vyhnívanie, rozklad). Toto sa však nezaobíde bez optimálne riadených podmienok (obsah sušiny, reakčná teplota, pH). Z hľadiska reakčnej teploty sa v praxi najčastejšie vyskytuje proces mezofilny (teplota 35 až 40 °C) a proces termofilny (teplota okolo 55 °C).

Anaeróbna fermentácia prebieha v plynotesnom reaktore, kde je biomasa držaná 20 až 30 dní. Výslednými produktmi sú hnojivý substrát (fermentačný zvyšok) a energeticky využiteľný bioplyn, predstavujúci zmes plynov s metánom a oxidom uhličitým ako prevládajúcimi zložkami. Principiálne sú možné dva druhy tohto procesu, a to mokrá fermentácia s obsahom sušiny pod 12 % a suchá fermentácia, ktorá sa využíva v biomase s obsahom sušiny 20 až 60 % (v poľnohospodárstve však nie je príliš rozšírená) (Schutz, 2004).

Anaeróbna fermentácia odpadov zo živočíšnej výroby

Proces anaeróbnej fermentácie je z chemického hľadiska viacstupňový proces, v ktorom dochádza k postupnej premene sacharidov, tukov a bielkovín na bioplyn pôsobením metanogénnych, acetotrofných a hydrogenotrofných mikroorganizmov.

Celý proces prebieha v štyroch fázach – hydrolyza, acidogenéza, acetogenéza a metanogenéza:

- Pri hydrolyze nie je vyžadované bezkyslíkaté prostredie. Hydrolytické mikroorganizmy vyžadujú iba dostatočný obsah vlhkosti. V tomto procese dochádza k premene vlhkých organických látok na jednoduchšie organické zlúčeniny.
- Pri acidogenéze z vlhkých organických látok vznikajú organické kyseliny (kyselina kaprónová, valerová, maslová, propiónová a tiež kyselina octová, ktorá sa 3. fázy nezúčastňuje). Súčasne sa anaeróbne baktérie podieľajú na vzniku H_2 a CO_2 .
- Pri acetogenéze premieňajú baktérie vyššie organické kyseliny na kyselinu octovú.
- Pri metanogenéze prebiehajú dva procesy. Metanogénne acetotrofné baktérie rozkladajú kyselinu octovú na metán a oxid uhličitý. Hydrogénne baktérie produkujú z vodíka a oxidu uhličitého metán.

Bioplyn sa skladá prevažne z metánu, oxidu uhličitého a v menších koncentráciách sú to látky ako sírovodík, vodík či kyslík. Prítomnosť vodíka spravidla nemá vplyv na kvalitu bioplynu, svedčí iba o nerovnováhe medzi baktériami podieľajúcimi sa na acidogénnej a metanogénnej fáze. Koncentrácie kyslíka v bioplyne sú nežiaduce, pretože tvoria s bioplynom traskavú zmes. Sírovodík v zariadení spôsobuje jeho koróziu (armatúry, plynomery, horáky, motory), navyše spaľovaním H_2S vznikajú škodlivé oxidy síry SO_x . V praxi sa bioplyn odsiruje prefukovaním cez granulát zložený z oxidov železa, či cez železné piliny. Ďalším spôsobom odsírenia je baktéria *Thiobacillus*, ktorá v kvapalnej fáze mení H_2S na síru.

Spaľovanie bioplynu je veľmi výhodné z hľadiska emisie skleníkových plynov, lebo voľne unikajúci metán má z hľadiska globálnych klimatických zmien oveľa väčšie dopady ako oxid uhličitý. Ďalším nezanedbateľným faktorom je možnosť spracovania organických odpadov zo živočíšnej výroby, ktorý môže spôsobiť kontamináciu spodných aj povrchových vôd. Z tohto dôvodu je tiež vhodné, aby transport neprebíhal vo veľkých vzdialenostiach, aby sa znížila pravdepodobnosť havárie. Bioplyn je možné využívať všade, kde sa používajú aj iné plynné palivá.

Bioplyn možno na energetické účely využiť nasledujúcimi spôsobmi:

- Priame spaľovanie.
- Výroba elektrickej energie a ohrev teplonosného média (kogenerácia).
- Výroba elektrickej energie, ohrev teplonosného média, výroba chladu (trigenerácia).
- Pohon spaľovacích motorov alebo turbín.
- Využitie bioplynu v palivových článkoch.

Keďže výroba bioplynu je viacstupňový proces, všetky procesy v tomto cykle vyžadujú dodržanie fyziologicky priaznivých podmienok pre mikroorganizmy.

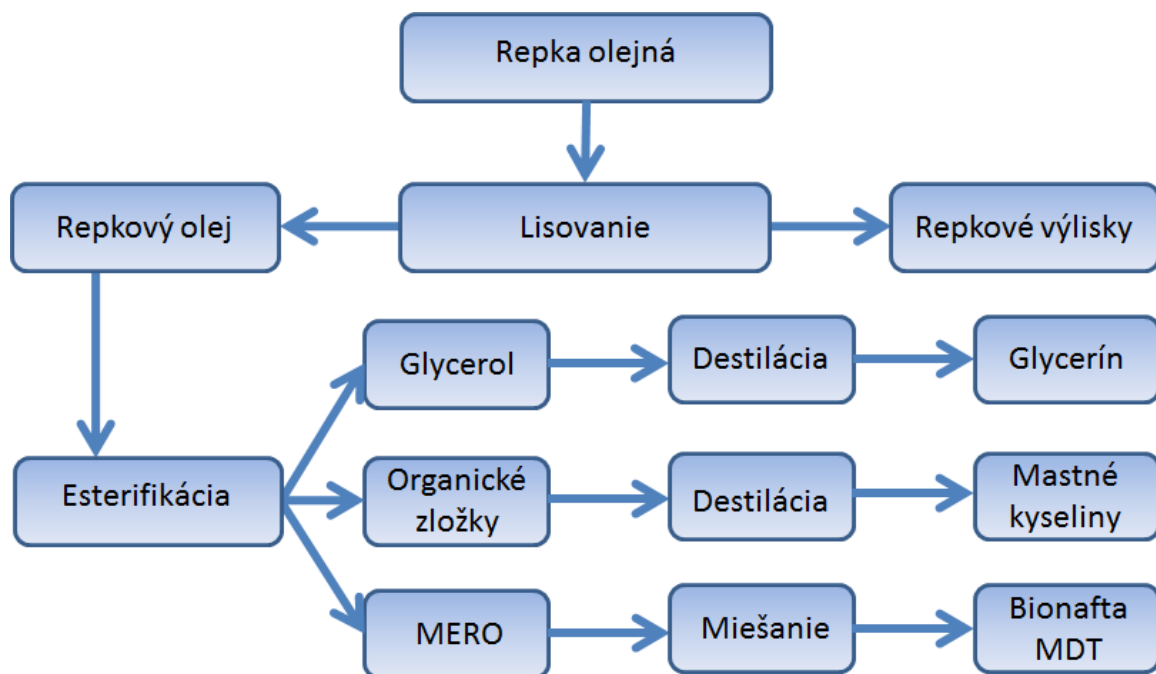
Hlavne teplotu, hodnotu pH, koncentráciu substrátu a inhibítorov, ktoré ovplyvňujú proces výroby bioplynu (Mastný, 2011; Mikeš, 2011; Horbaj, 2007).

Chemické premeny biomasy

Ako motorové biopalivá je možné použiť i rastlinné oleje a ich deriváty, najmä metylestery mastných kyselín, označované ako bionafta. Aby bolo možné rastlinné oleje použiť priamo v bežných motoroch, je nutné ich upraviť rafinačným procesom, tzv. esterifikáciou. Metylestery mastných kyselín je možné vyrábať priamou esterifikáciou (štiepením) mastných kyselín metanolom alebo preesterifikáciou prírodných olejov metanolom, čo je základný technologický postup výroby najvýznamnejšieho metylesteru – metylesteru repky olejnej (MERO), ktorý sa niektorými vlastnosťami veľmi približuje motorovej naфте. Na obr. 9.18 je uvedený proces spracovania repky olejnej.

Čistý rastlinný olej sa v súčasnosti v doprave používa len minimálne. Vo väčšine krajín sa používa esterifikovaný olej MERO ako prísada do klasickej nafty s bežne až 30 % podielom v naфте, tzv. bionafta MDT (zmes 30 % MERO a 70 % naфта). Biodiesel sa v Európe vyrába predovšetkým v Nemecku a Francúzsku, a to z repky olejnej a slnečnice.

Cena tohto paliva súvisí so svetovými cenami na trhu s prírodnými olejmi. V prípade zníženia spotrebnej dane na biodiesel, je toto palivo schopné cenovo konkurovať klasickej naфте. Ešte perspektívnejšia je budúcnosť čistého rastlinného oleja, ktorý má lepšie energetické parametre a v konečnom dôsledku je lacnejší.



Obr. 9.18 Spracovanie repky olejnej (Jandačka, 2011 a).

Bionafta sa okrem klasických naftových vozidiel využíva hlavne v poľnohospodárskych a lesníckych strojoch. S jej využitím je možné sa stretnúť aj na niektorých lodiach a člnoch, čo súvisí s tým, že bionafta neznečisťuje vodu.

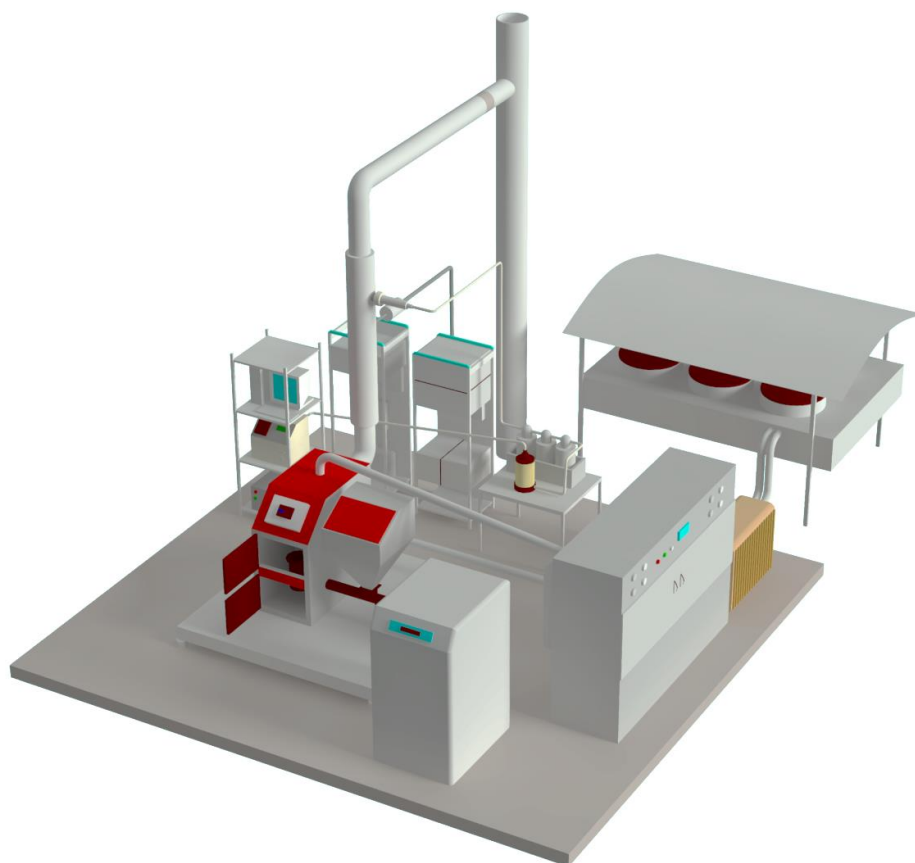
V Nemecku okrem poľnohospodárov bionaftu bežne využívajú aj vozidlá taxi služby. Zvyčajne sú tieto vozidlá upravené tak, že umožňujú jazdu na bionaftu aj na naftu.

9.4. Experimentálne merania výkonu a emisií zdroja tepla spaľujúceho biomasu

V nasledujúcej časti sú analyzované rôzne základné aspekty, ktoré ovplyvňujú výkonové a emisné parametre zdrojov tepla na spaľovanie biomasy. Tieto analýzy boli realizované na základe konkrétnych experimentálnych meraní na rôznych druhoch lokálnych, resp. centrálnych zdrojov tepla.

9.4.1. Meranie výkonu zdroja tepla

Experimenty na zdrojoch tepla na tuhé palivá prebiehali na experimentálnom zariadení na testovanie zdrojov tepla na tuhé palivá (obr. 9.19), ktoré pozostávalo zo zdroja tepla, zariadenia na spotrebu produkovaného tepla, analyzátora plyných emisií, analyzátora tuhých znečisťujúcich látok, meracej ústredne a osobného počítača.



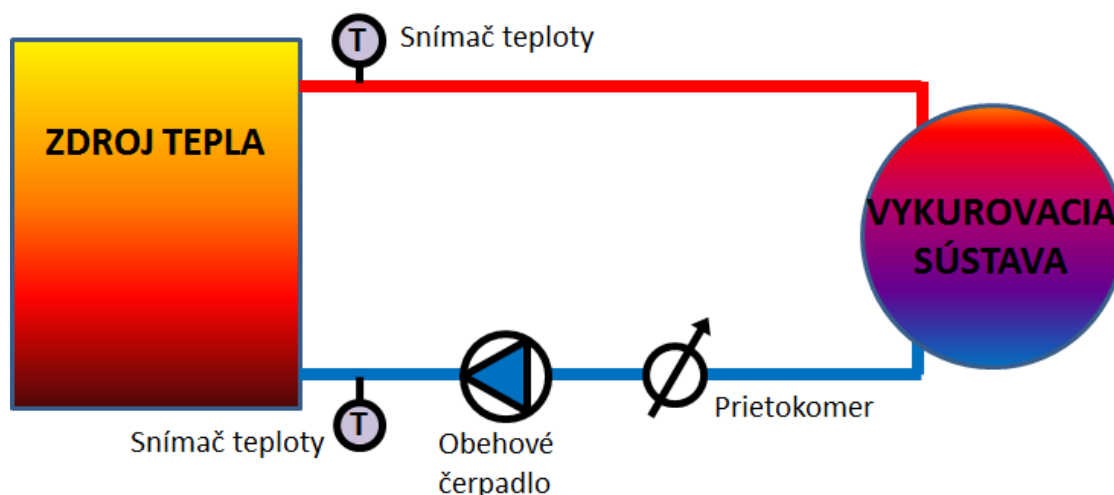
Obr. 9.19 Experimentálne zariadenie na testovanie zdrojov tepla na tuhé palivá (Jandačka, 2016).

Tepelný výkon zdroja tepla sa stanovuje podľa STN EN 303 – 5. Využíva sa priama metóda, tzv. kalorimetrická metóda, stanovovania tepelného výkonu zdroja tepla, pri ktorej sa tepelný výkon stanovuje z hmotnostného prietoku a z rozdielu teplôt na výstupe a na vstupe teplonosného média zo zdroja tepla (obr. 9.20) podľa nasledujúceho vzťahu:

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{W}] \quad (9.11)$$

kde \dot{Q} – je tepelný výkon zdroja tepla v [W; kW], \dot{m} – je hmotnostný prietok teplonosného média na výstupe zo zdroja tepla v [kg.s⁻¹], c_p – je špecifická tepelná kapacita teplonosného média v [J.kg⁻¹.K⁻¹], pričom špecifická tepelná kapacita je závislá od teploty teplonosného média, t_1 – je teplota teplonosného média na výstupe zo zdroja tepla a t_2 – je teplota teplonosného média na vstupe do zdroja tepla.

Počas stanovovania tepelného výkonu bolo potrebné udržiavať nastavený teplotný spád pomocou regulátora teploty ide o zariadenie detegujúce a regulujúce teplotu vody v kotle. Zariadenie pozostáva z výmenníka tepla, dvoch obehových čerpadiel riadených frekvenčnými meničmi, dvoch regulačných ventilov, ovládacieho, regulačného a bezpečnostného zariadenia.



Obr. 9.20 Princíp stanovovania tepelného výkonu zdroja tepla (Jandačka, 2016).

Teplo produkované zdrojom tepla bolo odovzdávané cez regulátor teploty s výmenníkom tepla do sekundárneho okruhu teplonosného média. Teplo zo sekundárneho kruhu bolo cez výmenník tepla prenášané do suchého automatického chladiča umiestneného v externom priestore (Jandačka, 2008 a).

9.4.2. Meranie emisií

Keďže primárnym zdrojom energie je tuhé palivo, bolo nutné stanoviť produkciu emisií. Spaliny prechádzajú meracím úsekom spalín (obr. 9.21 vľavo), ktorý je umiestnený v dymovode. V meracom úseku spalín sa uskutočnilo meranie teploty komína, zloženia spalín, komínového ťahu a taktiež sa odoberala vzorka na meranie tuhých znečisťujúcich látok (TZL). Hrdlo pre odvod spalín sa pripojilo k izolovanému meraciemu úseku spalín. Produkcia emisií CO, SO_x, OGC a NO_x sa stanovovalo analyzátorom spalín ABB AO 2020 (obr. 9.21 vpravo).

Zariadenie zaznamenáva produkciu emisií v jednotkách ppm (Parts Per Million). Jednotky je potrebné prepočítať na mg.m⁻³. Postup prepočtu je nasledujúci:

$$Y = X \cdot \frac{M}{22,41} \cdot \frac{T}{273,15} \cdot \frac{p}{101325}, \quad [\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (9.12)$$

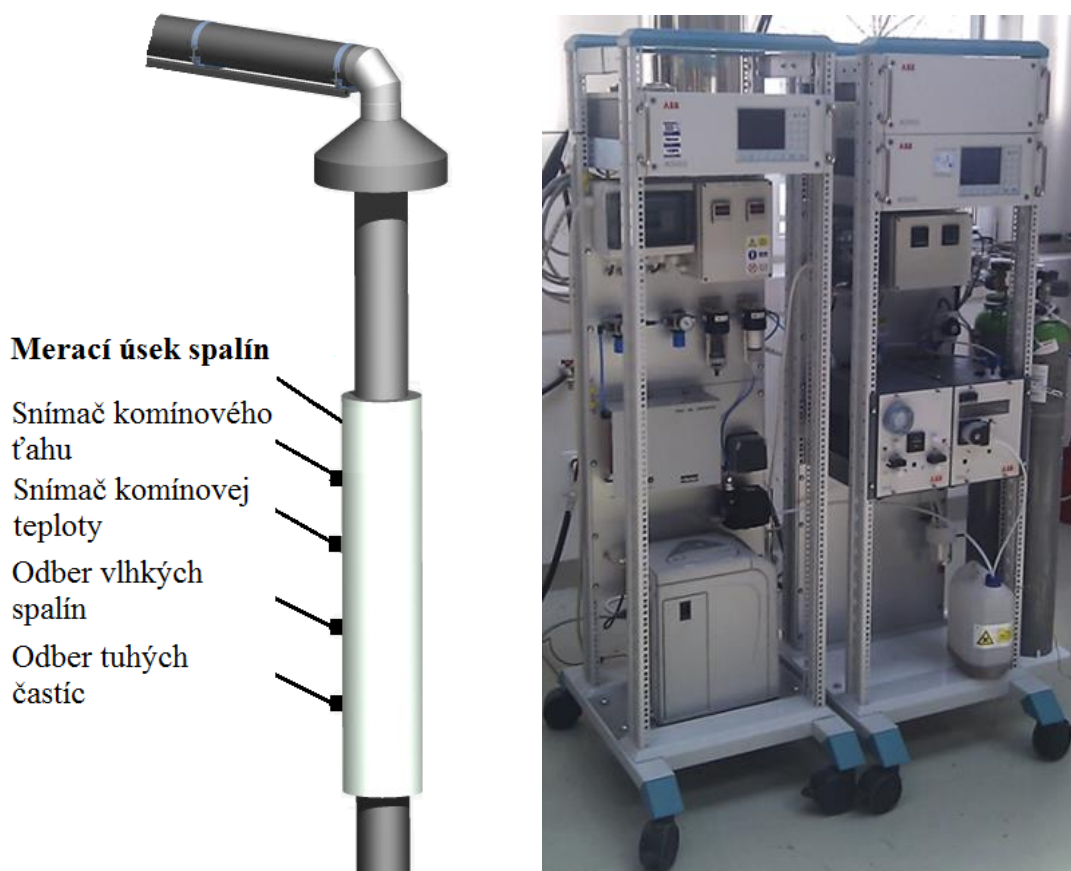
kde Y – je vypočítaná produkcia emisie [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$], X – je nameraná produkcia emisie [ppm], M – je molárna hmotnosť [$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$], 22,41 je normálny mólový objem [$\text{dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$], T – je teplota [K] a p – je tlak [Pa].

Normalizovaná koncentrácia kyslíka ($\text{O}_{2\text{standardised}}$) v spalinách z centrálného zdroja tepla je 10 %. Hodnoty produkcie emisie sa prepočítavajú na základe obsahu kyslíka v spalinách podľa nasledujúceho vzťahu:

$$Y_{(10\% \text{ O}_2)} = Y \cdot \frac{21 - \text{O}_{2\text{standardised}}}{21 - \text{O}_{2\text{avg}}}, \quad [\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (9.13)$$

kde $Y_{(10\% \text{ O}_2)}$ – je normalizovaná hodnota koncentrácie emisie [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$], Y – je vypočítaná produkcia emisie [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$], $\text{O}_{2\text{standardised}}$ – je normalizovaná koncentrácia kyslíka v spalinách [%], $\text{O}_{2\text{avg}}$ – je priemerná hodnota koncentrácie kyslíka v spalinách [%].

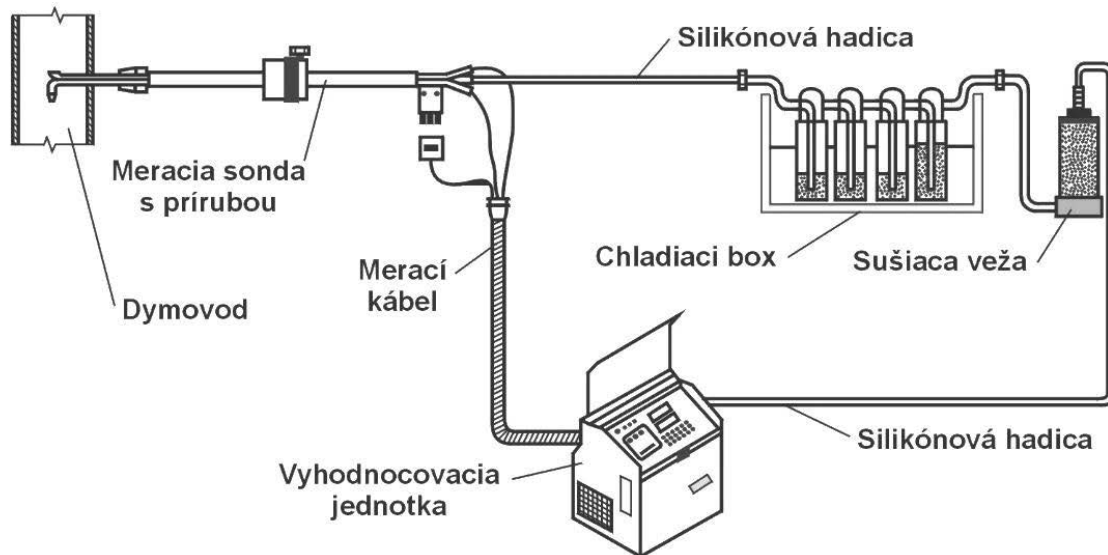
Konštantný komínový ťah bol zabezpečený ventilátorom pre odvod spalín, ktorého otáčky boli regulované frekvenčným meničom. Ťah komína bol nastavený na 12 ± 2 Pa (Jandačka, 2008 a).



Obr. 9.21 Merací úsek spalín; Analyzátor plynných emisií (Jandačka, 2016).

9.4.3. Meranie tuhých znečisťujúcich látok

Množstvo tuhých znečisťujúcich látok (TZL) bolo stanovené pomocou gravimetrickej metódy (obr. 9.22). Gravimetrická metóda je manuálna jednorazová metóda s odberom vzorky sondou z prúdiaceho plynu. Je založená na stanovení strednej koncentrácie častíc odberom z viacerých bodov prierezu merania a jeho následným gravimetrickým vyhodnotením. Tuhé prímеси sú odlučovány spravidla externým filtrom (Jandačka, 2007 c).



Obr. 9.22 Schéma gravimetrickej metódy (Jandačka, 2016).

Odber vzorky spalín sa vykonával trojstupňovým separačným impaktorom, čo je kompaktný sampler na zabezpečenie automatických izokinetických meraní nízkych, stredných a vysokých koncentrácií tuhých látok podľa STN EN 13284-1 a STN ISO 9096.

Počas merania TZL sa, vďaka použitiu trojstupňového separačného impaktora, stanovovalo rozloženie veľkosti častíc – nad $10\ \mu\text{m}$, do $10\ \mu\text{m}$ (PM 10) a do $2,5\ \mu\text{m}$ (PM 2,5). Izokinetická podmienka odberu spalín bola zabezpečená reguláciou odsávaného prietoku na základe hodnôt rýchlosti spalín v dymovode meranej Pitotovou trubicou, ktorej presnosť merania má značný vplyv na presnosť merania TZL.

V rámci experimentov na zdrojoch tepla na tuhé palivá sa testoval vplyv rôznych aspektov:

- Druh paliva.
- Vlhkosť paliva.
- Množstvo spaľovacieho vzduchu.
- Teplota spaľovacieho vzduchu.
- Vlhkosť spaľovacieho vzduchu.

9.4.4. Analýza vplyvu druhu paliva

Výkonové a emisné parametre zdrojov tepla sú do značnej miery závislé od druhu paliva, ktoré sa spaľuje. Každé palivo si so sebou nesie určité vlastnosti, ktoré ovplyvňuje

samotný proces spaľovania, produkciu emisií pri spaľovaní, resp. vlastnosti popola po spálení paliva.

Tieto vlastnosti sú ovplyvnené:

- Druhom paliva, či ide o palivo z biomasy, resp. fosílné palivo. Biomasa má viac ľahko odpariteľných zložiek (70 – 80 %) v porovnaní s fosílnymi palivami (50 %).
- Druhom biomasy, či ide o dendromasu (lesná biomasa), fytomasu (poľnohospodárska biomasa). Každá biomasa má iné prvkové zloženie, s rôznym percentuálnym zastúpením jednotlivých prvkov. Tieto prvky ovplyvňujú samotný proces spaľovania, produkciu emisií, stopové prvky v popole. Druh biomasy ovplyvňuje i teplotu tavitel'nosti popola.
- Či ide o spaľovanie čistej vlákniny, kôry resp. kombinácie oboch.
- Či ide o spaľovanie zrna, stebľa, resp. kombinácie oboch.
- Vekom dendromasy.
- Od miesta pestovania biomasy.
- Formy dendromasy, v akom stave sa dendromasa spaľuje. Či ide o spaľovanie biomasy vo forme kusového dreva, štiepky, brikiet, resp. peliet.
- Formy fytomasy, v akom stave sa fytomasa spaľuje. Či ide o spaľovanie fytomasy v balíkoch, sečky, brikiet, resp. peliet.

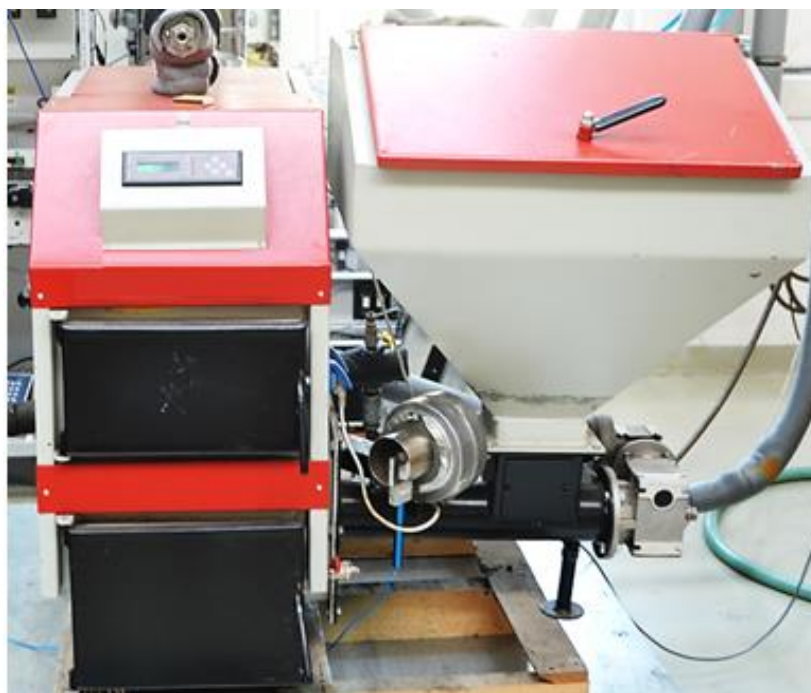
V rámci určovania vplyvu druhu paliva na výkonové a emisné parametre zdroja tepla sa spaľovali nasledujúce druhy paliva:

- Pelety vyrobené z pšeničnej slamy (obr. 9.23) – ide o pelety s priemerom 6 mm, dĺžkou do 40 mm, vlhkosťou 10,41 %, obsahom popola 4,46 %, spalným teplom 17,70 MJ.kg⁻¹ a výhrevnosťou 16,22 MJ.kg⁻¹ vyrobené na experimentálnom zariadení na peletizáciu.
- Repka olejná – semená (obr. 9.23). Ide o semená tvaru gule s priemerom okolo 2 mm, vlhkosťou 7,31 %, obsahom popola 3,21 %, spalným teplom 26,89 MJ.kg⁻¹ a výhrevnosťou 24,64 MJ.kg⁻¹.
- Drevné pelety (obr. 9.23) – ako referenčná vzorka sa použili štandardné drevné pelety vyrobené zo smrekového dreva. Drevné pelety boli triedy A1 v súlade s normou STN EN 14961 – priemer 6 mm, dĺžka do 40 mm, vlhkosť do 10 %, obsah popola do 0,7 %, spalné teplo 20,47 MJ.kg⁻¹, výhrevnosť 18,77 MJ.kg⁻¹.



Obr. 9.23 Použité typy biopalív, zľava pelety vyrobené z pšeničnej slamy, semená repky olejnej, drevné pelety (Jandačka, 2016).

Vzorky alternatívnych biopalív a drevné pelety boli spaľované v automatickom teplovodnom kotle (obr. 9.24) s menovitým tepelným výkonom 18 kW, ktorý bol pripojený k experimentálnemu zariadeniu na testovanie zdrojov tepla. Všetky vzorky tuhých biopalív boli spaľované pri rovnakých prevádzkových nastaveniach zdroja tepla – doba podávania paliva bola 18 s, doba státia paliva bola 25 s a prívod spaľovacieho vzduchu bol nastavený na 40 %.



Obr. 9.24 Experimentálny automatický kotol na spaľovanie drevných peliet (Jandačka, 2016).

Počas experimentov sa potvrdili predpoklady, že spaľovanie alternatívnych biopalív v zdroji tepla určenom na spaľovanie drevných peliet bude komplikované. Spaľovanie drevných peliet bolo podľa očakávaní bezproblémové. Počas spaľovania peliet vyrobených z pšeničnej slamy a plodov repky olejnej však došlo k prevádzkovým problémom.

Prvým veľmi negatívnym problémom bol vznik spekancov a nánosov popola (obr. 9.25), čo je spôsobené nízkou teplotou tavitelnosti popola, konkrétne nízkou hodnotou

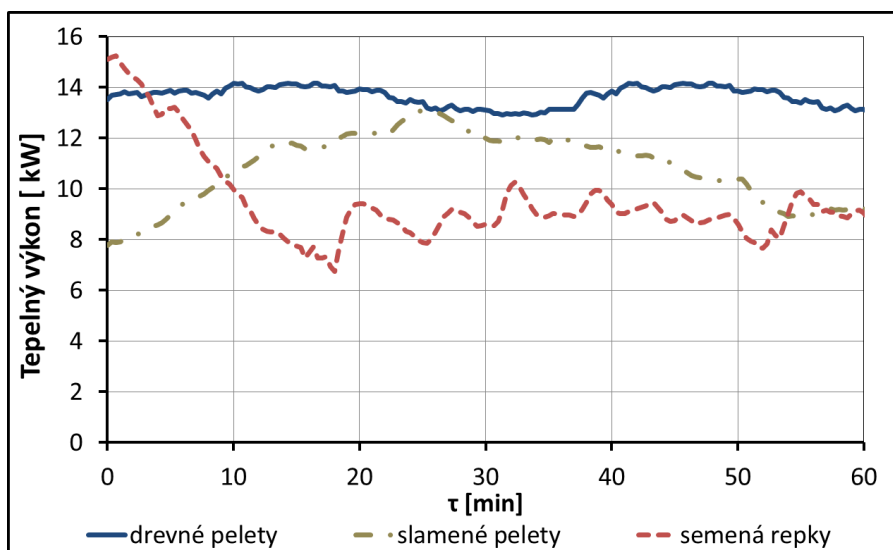
teploty mäknutia popola pod hodnotou 700 °C. To spôsobilo upchávajúce horáka so spodným prívodom paliva (obr. 9.25). Pre zabránenie upchatia horáka bolo nutné nánosy spekančov popola v pravidelných časových intervaloch (cca 20 minút) odstraňovať, aby nedošlo k zhaseniu plameňa a prípadným iným problémom.



Obr. 9.25 Prevádzkové problémy spaľovania alternatívnych biopalív
A-spaľovanie repky olejnej; B-spaľovanie peliet z pšeničnej slamy; C-vzniknuté spekančov popola (Jandačka, 2016).

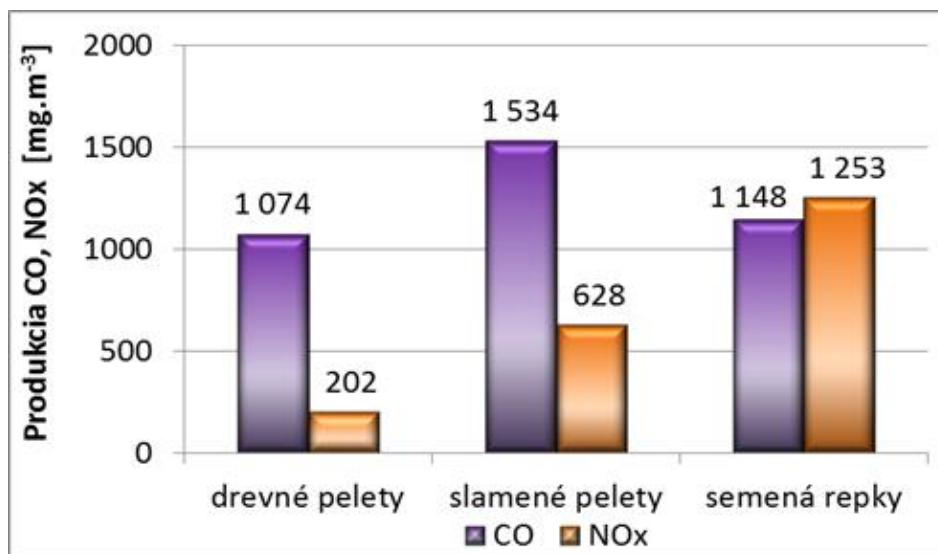
Druhý negatívny dopad spaľovania alternatívneho paliva v zdroji tepla na spaľovanie drevných peliet boli problémy súvisiace s olejom obsiahnutým v palive repka olejná. Tento olej sa vylučoval počas transportu paliva pomocou závitkového dopravníka, kedy olej tiekol cez rôzne spoje. Olej sa vylučoval aj počas procesu horenia, čo malo za následok prskanie horiaceho oleja v spaľovacej komore a následné dohorievanie paliva v popolníku.

Problematické spaľovanie alternatívnych biopalív v zdroji tepla na spaľovanie drevných peliet sa prejavilo aj na výkonových a emisných parametroch. Na obr. 9.26 sú znázornené časové priebehy tepelného výkonu experimentálneho zdroja tepla počas spaľovania drevných peliet, peliet z pšeničnej slamy a semien repky olejnej.



Obr. 9.26 Časové priebehy tepelného výkonu experimentálneho zdroja tepla počas spaľovania drevných peliet, peliet z pšeničnej slamy a semien repky olejnej (Jandačka, 2016).

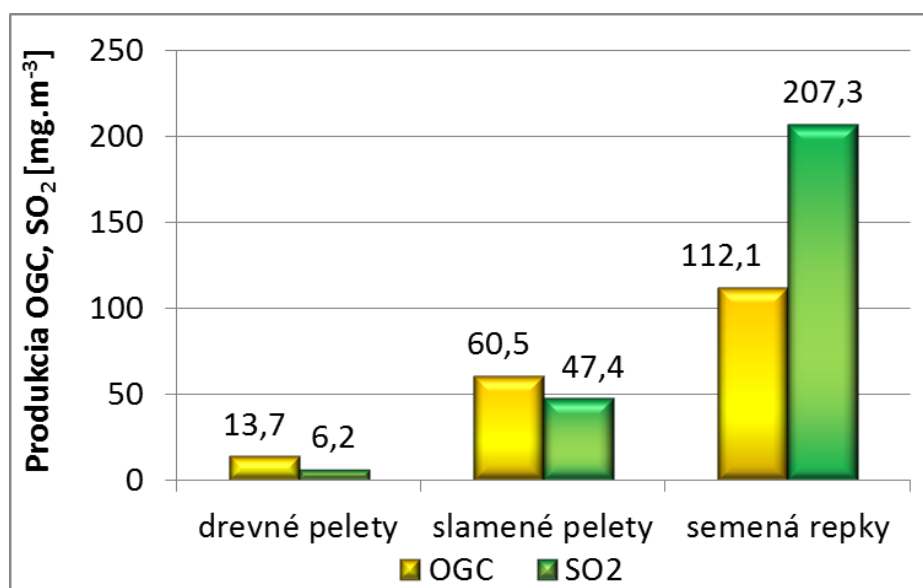
Počas spaľovania peliet z pšeničnej slamy a semien repky olejnej bola vyššia produkcia plynných emisií oxidu uhoľnatého (CO) a oxidov dusíka (NOx) v porovnaní s produkciou plynných emisií CO a NOx počas spaľovania drevných peliet (obr. 9.27).



Obr. 9.27 Priemerná produkcia plynných emisií CO a NOx (Jandačka, 2016).

Produkcia CO bola najvyššia počas spaľovania peliet vyrobených z pšeničnej slamy. Počas spaľovania semien repky olejnej bola taktiež vyššia priemerná produkcia CO v porovnaní s referenčnou vzorkou. Najvyššia priemerná produkcia NOx bola zaznamenaná počas spaľovania semien repky olejnej, čo mohlo byť spôsobené vysokou teplotou v spaľovacej komore (nad 1 000 °C) a vyšším obsahom dusíka v palive.

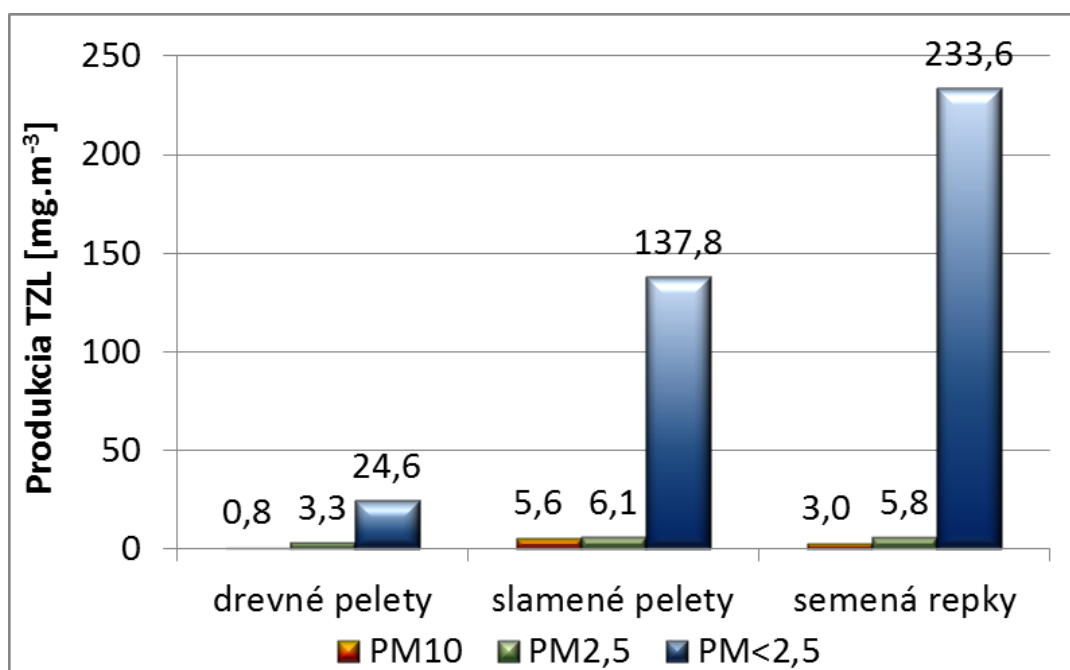
Počas spaľovania peliet z pšeničnej slamy a semien repky olejnej bola taktiež niekoľkonásobne vyššia produkcia plynných emisií organických uhl'ovodíkov (OGC) a oxidu siričitého (SO₂) v porovnaní s produkciou plynných emisií OGC a SO₂ počas spaľovania drevných peliet (obr. 9.28).



Obr. 9.28 Priemerná produkcia plynných emisií OGC a SO₂ (Jandačka, 2016).

Produkcia OGC bola v porovnaní so spaľovaním referenčnej vzorky vyššia pri oboch testovaných alternatívnych biopalivách. Pri spaľovaní semien repky olejnej bola priemerná produkcia OGC viac ako osemnásobná v porovnaní so spaľovaním drevných peliet. Oveľa vyššie rozdiely sa zaznamenali pri produkcii SO₂, kde sa najvyššia priemerná produkcia SO₂ namerala počas spaľovania semien repky, ktorá bola viac ako tridsaťkrát vyššia ako počas spaľovania referenčnej vzorky.

Na obr. 9.29 je znázornená priemerná produkcia tuhých znečisťujúcich látok (TZL) počas spaľovania drevných peliet, peliet z pšeničnej slamy a semien repky olejnej. Produkcia TZL bola v porovnaní so spaľovaním referenčnej vzorky vyššia pri oboch testovaných alternatívnych biopalivách. Počas spaľovania slamených peliet bola približne trojnásobná a počas spaľovania semien repky olejnej približne päťnásobná.



Obr. 9.29 Priemerná produkcia (Jandačka, 2016).

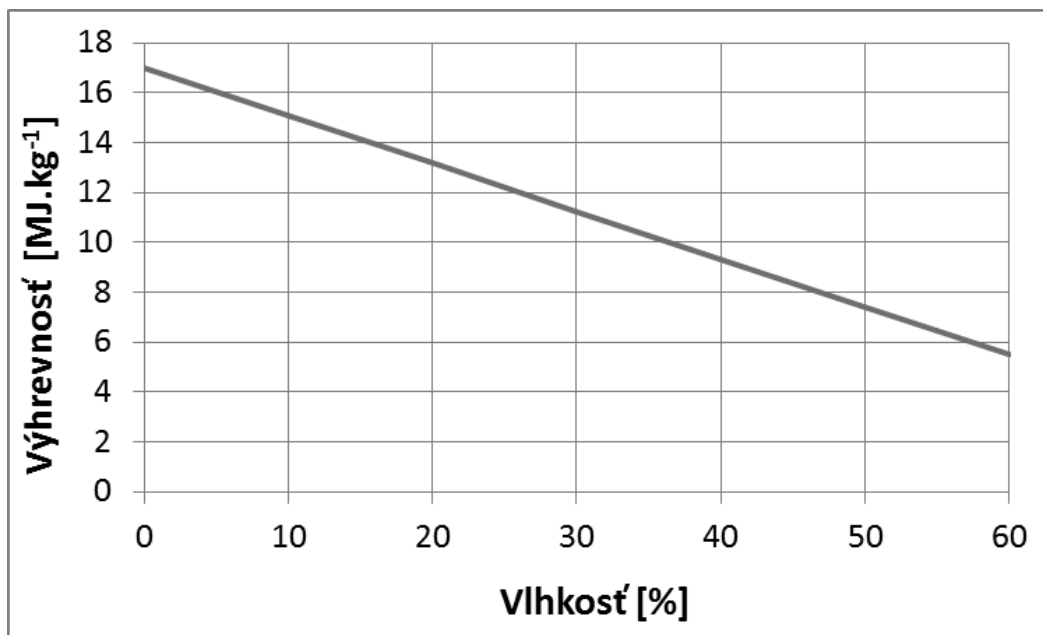
Problematika spaľovania alternatívnych biopalív na báze lacnejšej fytomasy je pomerne aktuálna téma, nakoľko viacerí majitelia zdrojov tepla na spaľovanie drevných peliet hľadajú lacnejšiu alternatívu paliva, ktorou môžu byť tuhé alternatívne biopalivá na báze fytomasy. Ako poukázali viaceré experimenty, spaľovanie biopalív na báze fytomasy je komplikované vzhľadom na problémy, ktoré vznikajú počas ich spaľovania.

Experimenty taktiež poukázali, že produkcia plyných emisií a tuhých znečisťujúcich látok sú omnoho vyššie ako počas spaľovania drevných peliet. Najvyššie rozdiely sa prejavili v produkcii emisií NO_x, OGC, SO₂ a TZL. Hodnoty produkcie emisií dosiahnuté počas týchto experimentov prekročili povolené limity. Z tohto dôvodu nie je možné odporučiť spaľovanie alternatívnych biopalív (pšeničnej slamy, semien repky olejnej) v bežných automatických kotloch na spaľovanie drevných peliet. Na bezproblémové spaľovanie alternatívnych biopalív je vhodný len zdroj tepla certifikovaný na daný typ paliva (Jandačka, 2007 c).

9.4.5. Analýza vplyv vlhkosti paliva

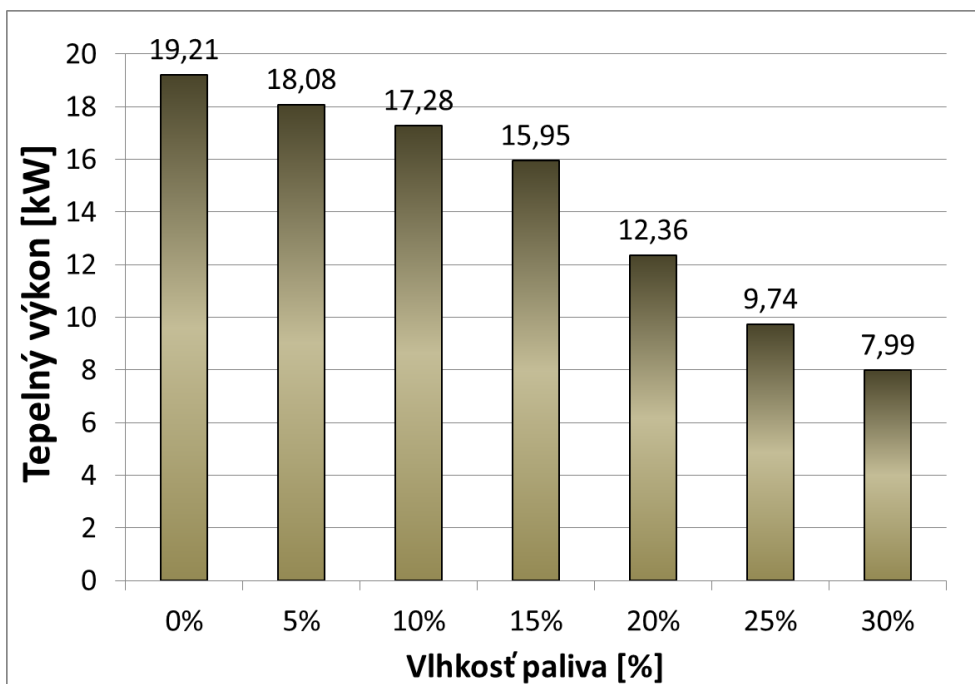
Efektívne využívanie zdrojov tepla na tuhé palivá je podmienené používaním kvalitného paliva. Ideálne kvalitné palivo má vysokú výhrevnosť a počas jeho spaľovania sa produkuje minimálne množstvo emisií. Hodnotu výhrevnosti ovplyvňuje vlhkosť paliva. Všeobecne je možné tvrdiť, že čím je nižšia vlhkosť paliva, tým je vyššia výhrevnosť. Výhrevnosť paliva je znížená o výparné teplo vody, ktorá je v palive obsiahnutá. Na obr. 9.30 je znázornené, ako vplyva vlhkosť paliva na výhrevnosť.

Stanovenie vplyvu vlhkosti paliva na tepelno-technické parametre zdroja tepla sa realizovali zmenou vlhkosti použitého paliva – drevných peliet. Z drevných peliet s počiatočnou vlhkosťou 9,98 % sa postupným vysušením získali vzorky s vlhkosťou 0 % a 5 % a postupným pridávaním vody získali vzorky s vlhkosťou 10 %, 15 %, 20 %, 25 % a 30 %. Jednotlivé vzorky boli testované v automatickom teplovodnom kotle na spaľovanie drevných peliet s menovitým výkonom 18 kW pri rovnako nastavenej regulácii kotla, dodávka paliva (18 s podávanie, 25 s státie dopravníka paliva) a prívod spaľovacieho vzduchu (ventilátor nastavený na 40 % menovitých otáčok), ktoré boli počas každého merania rovnaké.



Obr. 9.30 Závislosť výhrevnosti paliva od vlhkosti (Jandačka, 2016).

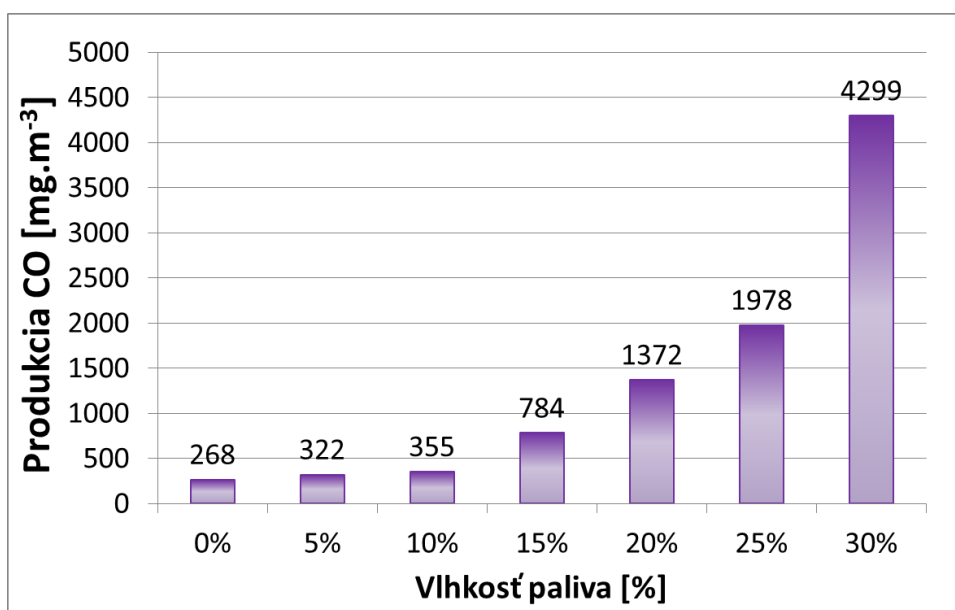
Na obr. 9.31 sú uvedené priemerné hodnoty tepelného výkonu v závislosti od vlhkosti paliva. Tepelný výkon zdroja tepla s rastúcou vlhkosťou paliva výrazne klesal, čo bolo spôsobené nižším obsahom horľaviny vo vlhkejšom palive a odberom časti energie na odparenie vody počas spaľovania.



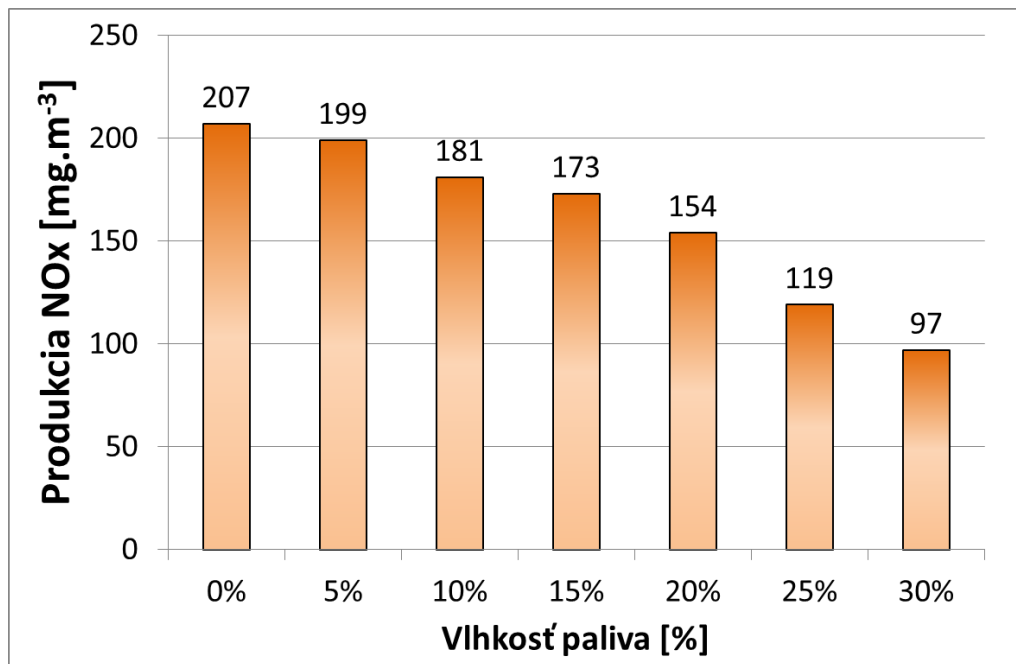
Obr. 9.31 Závislosť tepelného výkonu zdroja tepla od vlhkosti paliva (Jandačka, 2016).

Z obr. 9.32 vyplýva, že produkcia CO mala so zvyšujúcou sa vlhkosťou paliva stúpajúci charakter. Produkcia CO pri 30 % vlhkosti paliva bola 16-násobne vyššia ako počas spaľovania suchého paliva, čo bolo spôsobené nedokonalým premiešaním paliva s oxidačným činidlom, vytvorením zón v spaľovacom priestore kúreniska s nedostatkom kyslíka pre dokonalú oxidáciu uhlíka, nestabilitou teplotných pomerov v spaľovacom priestore kúreniska a kolísaním teplôt v kúrenisku z dôvodu obsahu vody v palive.

Na obr. 9.33 je znázornená závislosť produkcie NO_x od vlhkosti paliva. Produkcia NO_x pomerne výrazne klesala so stúpajúcou vlhkosťou paliva, čo bolo spôsobené ochladzovaním plameňa vplyvom vody obsiahnutej vo vlhkom palive.



Obr. 9.32 Závislosť produkcie CO od vlhkosti paliva (Jandačka, 2016).



Obr. 9.33 Závislosť produkcie NOx od vlhkosti paliva (Jandačka, 2016).

Na základe výsledkov experimentu testovania vplyvu obsahu vlhkosti paliva na tepelný výkon zdroja tepla a produkciu emisií možno konštatovať, že s rastúcou vlhkosťou paliva sa zhoršujú podmienky spaľovania v zdroji tepla, čo má za následok nižší tepelný výkon a vyššiu produkciu CO. Podobné výsledky sa dosiahli aj pri použití iných palív (napríklad kusové drevo). Možno konštatovať, že pre bezproblémové spaľovanie a efektívne využívanie paliva je potrebné spaľovať palivo s čo najnižšou vlhkosťou, ideálne pod 15 %.

10. SLNEČNÁ ENERGIA

Slnko nám dodáva energiu. Všetka energia, ktorá sa spotrebováva, s výnimkou jadrovej a geotermálnej energie pochádza zo slnka. Fosílna palivá ako uhlie, ropa či zemný plyn majú pôvod v rastlinných a živočíšnych organizmoch, ktoré by sa bez slnka a fotosyntézy nezaobišli. Energia vody poháňajúca turbíny vodných elektrární je len dôsledkom kolobehu v prírode, poháňaného takisto slnkom prostredníctvom odparovania vody v oceánoch. Veterné elektrárne využívajú prúdenie vzduchu vyvolané nerovnomerným ohrevom jednotlivých častí atmosféry. Ani drevo či iná biomasa, ktorá sa používa na energetické účely, by neexistovala bez slnka a fotosyntézy.

Slnko ako jedna z hviezd našej galaxie predstavuje vysoko stabilný a vysoko výkonný energetický zdroj, bez ktorého by sa život na Zemi nezaobišiel. Má približne tvar gule s priemerom 1 400 000 km. Energia Slnka má pôvod vo fúznej protónneutrónovej reakcii. Reakcia prebieha pri teplotách až 14 miliónov °C, zatiaľ čo povrchová teplota Slnka dosahuje v priemere 6 000 °C. Spektrálne zloženie slnečného žiarenia sa pohybuje od vlnovej dĺžky 10^{-10} m (röntgenové a ultrafialové žiarenie) až po metrové (rádiové) vlny. Z hľadiska energetického využitia slnečného žiarenia na fototermitickú konverziu má najväčší význam vlnový rozsah od 300 do 2 500 nm, do ktorého spadá približne 98 % energie dopadajúcej na povrch Zeme (Hiaš, 2006).

10.1. Slnečné žiarenie

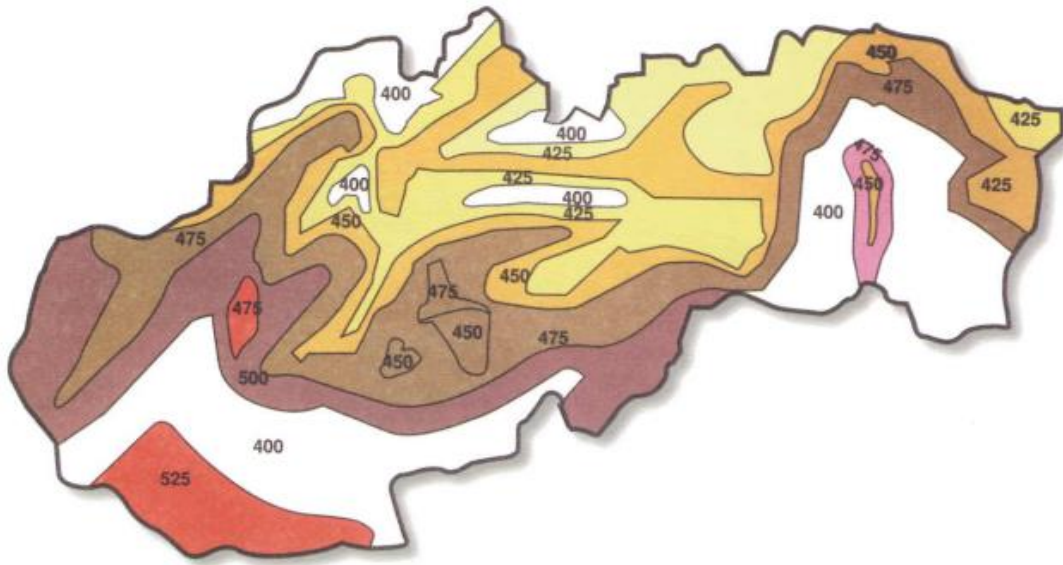
Slnečná energia dopadá na zemský povrch vo forme slnečného žiarenia. Slnečné žiarenie sa po dopade na zemský povrch premieňa na iné formy energie:

- Na tepelnú energiu – takýmto spôsobom sa ohrieva zemský povrch – pôda, vzduch i voda.
- Na mechanickú energiu – takto vznikajú vzdušné prúdy.
- Na chemickú energiu – ktorá je prostredníctvom fotosyntézy viazaná v rastlinách a iných organizmoch (Hiaš, 2006).

Energetickú bilanciu našej planéty ovplyvňuje dominantným spôsobom práve slnko. Na jeden m^2 zemského povrchu pri bezoblačnom počasí dopadá slnečné žiarenie s výkonom priemere 1 000 W. Slnečné žiarenie sa po dopade na Zem mení na teplo a chemickú energiu.

Na Slovensku nasvieti slnko ročne: 950 – 1 100 kW.h.m⁻². Rok má 8 760 hodín. Slnko svieti podľa oblasti 1 300 až 1 900 hodín. Tri štvrtiny tohoto slnečného žiarenia pripadá na letné mesiace (obr. 10.1).

V južnej Európe sú tieto hodnoty o 50 až 75 % vyššie. Najvyššie hodnoty slnečného žiarenia sa dosahujú v regiónoch položených severne a južne od rovníka (Južná Kalifornia – 2 200 kW.h.m⁻² za rok) (Maderová, 1997).



Obr. 10.1 Slné žiarenie na Slovensku na horizontálnu rovinu v $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$ za letné obdobie (Maderová, 1997).

Slné žiarenie dopadajúce na určitú plochu sa rozdeľuje na tri zložky:

- *Priame slné žiarenie* – slné žiarenie dopadajúce na plochu bez akéhokoľvek rozptylu v atmosfére.
- *Difúzne slné žiarenie* – slné žiarenie dopadajúce na plochu po zmene smeru žiarenia vplyvom rozptylu v atmosfére.
- *Odrazené slné žiarenie* – slné žiarenie odrazené od okolitých objektov (obr. 10.2) (Slpk3, 2020).



Obr. 10.2 Zložky slného žiarenia pri povrchu Zeme (Maderová, 1997).

10.2. Teplo zo slnečného žiarenia

Transformáciu slnečného žiarenia na teplo (fototermálnu premenu) je možné rozdeliť na *pasívnu premenu*, ktorú predstavujú pasívne solárne prvky budov, ako presklené fasády, či zimné záhrady a *aktívnu premenu*, ku ktorej sú potrebné prídavné technické zariadenia, ako sú napríklad slnečné kolektory (Jandačka, 2007 d). Na obr. 10.3 sú znázornené možnosti využitia slnečnej energie.



Obr. 10.3 Možnosti využívania slnečnej energie (Iliaš, 2006).

10.2.1. Pasívne systémy

Výhodou pasívnych systémov je, že k prevádzke nepotrebujú žiadne prídavné zariadenie. Využívajú slnečné žiarenie, ktoré dopadá do interiéru oknami alebo inými presklenými plochami. Systém je nutné navrhnuť tak, aby zisky boli čo najväčšie a čo najlepšie využité. Napríklad cirkuláciou vzduchu z oslnených miestností do ostatných častí domu. Výhodnejšie sú tzv. ťažké budovy, ktoré umožňujú krátkodobú akumuláciu prebytkov energie.

Pasívny systém musí s budovou vytvárať harmonický celok, ktorý je možné dosiahnuť jednoduchšie u novostavieb. Staršie stavby často nie je možné vhodne rekonštruovať. Z hľadiska návrhu pasívneho systému je dôležité vyriešiť otázku tepelnej záťaže počas letných mesiacov. S orientáciou presklených plôch na juh alebo západ sa v letnom období zvyšuje riziko prehrievania interiéru. Toto môže napríklad vyriešiť inštalovanie tepelného čerpadla, prípadne zemného výmenníka tepla. Energetický prínos je zásadne závislý od spôsobu využívania budovy a na chovaní sa obyvateľov domu.

10.2.2. Aktívne systémy

Aktívne systémy získavania tepla zo slnečného žiarenia sa realizujú pomocou solárnych vykurovacích systémov, ktorých najdôležitejšou časťou je slnečný kolektor. Slnečný kolektor vo väčšine prípadov je zabudovaný do stavebnej konštrukcie budovy a mal by byť orientovaný v smere maximálneho dopadu slnečného žiarenia na plochu kolektora.

Kolektory môžu byť ploché (obr. 10.4), vákuové (obr. 10.4) resp. koncentrické. Dosiachnutie vyšších teplôt, ako aj vyšších účinností je možné prostredníctvom koncentrických kolektorov, kde čelné lineárne Fresnelové šošovky, prípadne odrazová plocha dutého zrkadla, koncentrujú žiarenie na menšiu absorpčnú plochu. V takomto prípade musí byť kolektor vybavený polohovacím zariadením, ktoré naráča kolektor za Slnkom (Jandačka, 2007 d; Hiaš, 2006).



Plochý kolektor

Vákuový kolektor

Obr. 10.4 Typy kolektorov (Geotherm, 2021; Solarnepanelydomov, 2021).

Ploché kolektory

Na ohrev vody a v rastúcej miere i na účely podpory vykurovania sa využívajú v prevažnej miere ploché kolektory. Plochý kolektor sa skladá z plášt'a kolektora (väčšinou v podobe hliníkovej vane), absorbéra, tepelne odolnej izolácie s hrúbkou 40 – 70 mm z minerálnej vlny a priehľadného krytu. Absorbér býva vyrobený z medeného alebo hliníkového plechu so solárnym lakom alebo selektívnou povrchovou vrstvou, vďaka ktorej takmer úplne premieňa slnečné žiarenie na teplo. Používané sklo je chudobné na železo a odolné voči krupobitiu. Slnečné žiarenie prechádza krycím sklom a dopadá na absorbér, v ktorom dochádza k premene energie žiarenia na tepelnú energiu teplonosnej kvapaliny. Podobný efekt je možné cítiť v lete v aute, avšak na rozdiel od interiéru auta v kolektore je teplo odvádzané teplonosnou kvapalinou. Bežne dostupné kolektory vykazujú priemerne 60 % účinnosť, zatiaľ čo pri súčasnom stave technického vývoja fotovoltaických článkov sa ich účinnosť pohybuje medzi 11 % – 13 %. Vývoj však neustále pokračuje a preto je zrejmé, že táto účinnosť sa bude zvyšovať. Pre inštalácie slnečných kolektorov sa štandardne používa sklon 45°, kedy je využitie intenzity slnečného žiarenia najvyššie. Ploché kolektory sa používajú pre prípravu teplej vody a pre vykurovanie priestorov. Kvôli nízkym stratám tepla a menšiemu počtu spojovacích miest smeruje trend skôr k väčším modulom, ktoré sa montujú do strechy.

Na rozdiel od bazénových plastových absorbérov sú ploché kolektory vhodné pre ohrev vody v bazéne najmä v prípade, ak má byť okrem bazénu zásobovaný aj iný spotrebič, ako napríklad príprava teplej vody či podpora vykurovania (Hiaš, 2006).

Vákuové kolektory

Vákuové kolektory bývajú väčšinou z výrobo-technických dôvodov prevedené vo forme radu trubíc. Úzky pás absorbéra pokrytý selektívnou vrstvou zvyšujúcou absorbnú schopnosť je zavesený v sklenej trubici, ktorá nepohlucuje takmer žiadne žiarenie a je tepelne odolná. Tepelné straty sú podstatne redukované pomocou vákua vzniknutého odsatím vzduchu z priestoru medzi absorbérom a sklenenou trubicou. Vákuum zamedzuje vedeniu tepla čiže tepelným stratám prúdením (konvekciou) a tiež stratám spôsobeným tepelnou vodivosťou vzduchu.

Medzi nevýhody vákuových kolektorov patrí nevýhodný pomer medzi cenou a výkonom. Vďaka vákuu dosahujú vyššiu účinnosť a vyššie teploty, na druhej strane sú náročnejšie na výrobu a udržanie vákua, a teda aj drahšie. Keďže na jednotku plochy, ktorú zaberajú na streche s nimi nemožno pri ohreve vody získať vyššie ročné tepelné výnosy oproti kvalitným plochým kolektorom, vákuové kolektory nachádzajú využitie najmä v technologických procesoch s potrebou teplej vody nad 60 °C. Ekonomicky výhodné však zatiaľ nie sú ani vtedy, v niektorých prípadoch sa ekonomicky uplatnia v oblasti ešte vyšších teplôt.

Vákuové trubicové kolektory

Vákuové trubicové kolektory je možné rozdeliť na kolektory s priamym prúdením a kolektory pracujúce podľa princípu tepelnej trubice. Pri kolektoroch s priamym prúdením preteká teplonosné médium od rozdeľovača ku koncu rúry, odoberá teplo absorbéru, ktorý sa nachádza vo vákuu a tečie opäť do zberača. Prednosťou kolektorov s priamym prúdením je, že nie je potrebný ani minimálny sklon kolektorov. V prípade kolektorov pracujúcich na princípe tepelnej trubice sa v rúre nachádza kvapalina, väčšinou alkohol, ktorá sa odparuje pri nízkej teplote. Táto para stúpa v rúre až na horný koniec, na ktorom je umiestnený malý výmenník tepla. Na tomto výmenníku tepla (kondenzátore) para kondenzuje a odovzdáva svoje teplo nepriamo teplonosnému médiu. Odtekajúca kvapalina sa opäť zohrieva, vyparuje a kolobeh začína od začiatku. Aby tento kolobeh fungoval, kolektor musí mať sklon minimálne 30°. Veľkou prednosťou tohoto systému je, že kolektor je vlastnou konštrukciou zabezpečený proti prehriatiu, pretože po úplnom vyparení kvapaliny – teda keď sa neuskutočňuje odber tepla – sa kolobeh zastaví.

Medzi nevýhody vákuových kolektorov patria vyššie merné investičné náklady na jednotku získaného tepla. Vďaka vákuu dosahujú vyššiu účinnosť a vyššie teploty, na druhej strane sú náročnejšie na výrobu a teda aj drahšie. Keďže na jednotku plochy, ktorú zaberajú na streche s nimi nemožno pri ohreve vody získať vyššie ročné tepelné výnosy oproti kvalitným plochým kolektorom, nachádzajú využitie najmä v technologických procesoch s potrebou teplej vody nad 60 °C a pri solárnej podpore vykurovania (Hiaš, 2006).

Koncentrujúce kolektory

Koncentrujúce kolektory využívajú šošovky, reflektory, zrkadliace povrchy, ktoré koncentrujú slnečné žiarenie do ohniska, v ktorom sa nachádza absorbátor. Tieto zariadenia dosahujú oveľa vyššie teploty ako ostatné kolektory, na druhej strane sú schopné využívať len priame slnečné žiarenie, čo znamená, že počas oblačných dní ich tepelný zisk je prakticky zanedbateľný. Vysoké teploty sa v koncentrujúcich kolektoroch dosahujú tým, že veľká zrkadliaca plocha koncentruje žiarenie do malej plochy absorbátora. Niektoré typy koncentrujú žiarenie do jedného bodu (ohniska), kým iné do jednej ohniskovej čiary. Absorbátorom prechádza kvapalina, ktorá vedie vytvorené teplo do osobitného zariadenia, kde sa môže meniť napríklad na elektrickú energiu. Koncentrujúce kolektory sú prakticky využiteľné v oblastiach s veľmi vysokou intenzitou slnečného žiarenia blízko rovníka resp. v púštnych oblastiach s minimom oblačných dní. Keďže najväčší zisk sa dosahuje pri kolmom dopade žiarenia na zrkadlá, sú tieto zariadenia vybavené natáčacím mechanizmom, ktorý mení ich polohu v priebehu dňa tak, aby boli stále nasmerované k slnku. Jednoduché natáčacie zariadenia menia polohu v smere od východu na západ. Natáčacie zariadenia s dvoma osami navyše sledujú pohyb slnka aj od severu na juh a optimálne sledujú jeho polohu počas celého roka. Vzhľadom na to, že koncentračné kolektory sú drahé a natáčacie zariadenia si vyžadujú častú údržbu, ich použitie sa obmedzuje len na niektoré komerčné aplikácie.

Neoddeliteľnou súčasťou solárneho systému je zásobník tepla. Objem zásobníka musí odpovedať ploche kolektorov, aby aj v lete akumuloval zachytenú energiu a nedošlo tak k poškodeniu celého systému. Z hygienických dôvodov by sa mal obsah zásobníka ohriať aspoň raz do týždňa na teplotu 72 °C, pretože pri prevádzke za nízkych teplôt a malom odbere vody sa môžu v zásobníku rozmnožiť nežiaduce mikroorganizmy. Preto je vhodné, aby bol zásobník tepla pripojený aj na iný zdroj tepla, napríklad na ústredné vykurovanie, či elektrickú energiu.

Solárne systémy sa využívajú najmä na celoročnú prípravu teplej vody, na ohrievanie bazénovej vody a taktiež na prikurovanie objektov teplovodným alebo teplovzdušným vykurovaním.

Teplovzdušné kolektory slúžia na prikurovanie objektu v zimnom, ale hlavne v prechodnom období a na predohrev vetracieho vzduchu. Umiestňujú sa na južné fasády domov alebo nad strešné plášte s orientáciou na juh. Vstupné a výstupné hrdlá sú vyvedené do temperovaného priestoru, pričom vo vstupnom hrdle je umiestnená ventilačná jednotka s ventilátorom, ktorý je ovládaný termostatom v závislosti na vnútornej teplote kolektora (Inforse, 2022; Slpk2, 2020; Hiaš, 2006; Malcho, 2014a).

10.3. Výroba elektrickej energie z energie slnečného žiarenia

Výrobu elektrickej energie je možné vykonávať priamou alebo nepriamou metódou.

10.3.1. Princíp nepriamej premeny slnečnej energie na elektrickú energiu

Princíp nepriamej premeny slnečnej energie na energiu elektrickú spočíva v premene energie Slnka na tepelnú energiu a následnú premenu pomocou vhodných zariadení na elektrickú energiu.

Na koncentraciu slnečného žiarenia sa používajú štyri základné typy:

- Lineárne parabolické zrkadlá.
- Tanierové parabolické zrkadlá.
- Termálne solárne veže.
- Komínová slnečná elektráreň.

Lineárne parabolické zrkadlá – V potrubí prúdi kvapalina, ktorú pomocou zrkadiel Slnko ohrieva na teplotu takmer 400 °C (obr. 10.5). Kvapalina je prečerpávaná cez tepelné výmenníky, takže na konci uniká para s vysokou teplotou ktorá poháňa turbínu generátora vyrábajúceho elektrickú energiu. Potrubie v ohnisku parabolických zrkadiel je zo skla a celý systém je natáčaný smerom k slnku.

Najväčší takýto systém bol postavený na začiatku 80.tych rokov a 1 z 9 zariadení malo výkon 13,8 MW. V roku 1990 boli dokončené ostatné s výkonom až 80 MW. Ako teplotné médium sa používa olej. V dôsledku nízkych nákladov na prevádzku a údržbu sa solárne parabolické zrkadlá stali najlacnejšími a najspoľahlivejšími zariadeniami solárnej-termálnej výroby elektriny (Slpk, 2020).



*Obr. 10.5 Lineárne parabolické zrkadlá
(Energy, 2021; Sunwindenergy, 2021).*

Tanierové parabolické zrkadlá – Tieto systémy využívajú sústavu parabolických zrkadiel v tvare tanierov (podobných satelitným anténam), ktoré koncentrujú slnečné žiarenie do absorbátora umiestneného v ohnisku taniera. Kvapalina v absorbátore sa zohrieva až na 1 000 °C, ktorá je využívaná priamo na výrobu elektriny v malej turbíne (napríklad v Stirlingovom motore) pripojenej k absorbátoru. Výhodou týchto zariadení

je aj ich stavebnicový charakter, ktorý umožňuje ich použitie na odľahlých miestach. Vysoká optická účinnosť a nízke straty energie robia z parabolických tanierov najúčinnnejšie solárne zariadenia na výrobu elektriny (obr. 10.6) (Slpk, 2020).



Obr. 10.6 Tanierové parabolické zrkadlá (Genitronsviluppo, 2022).

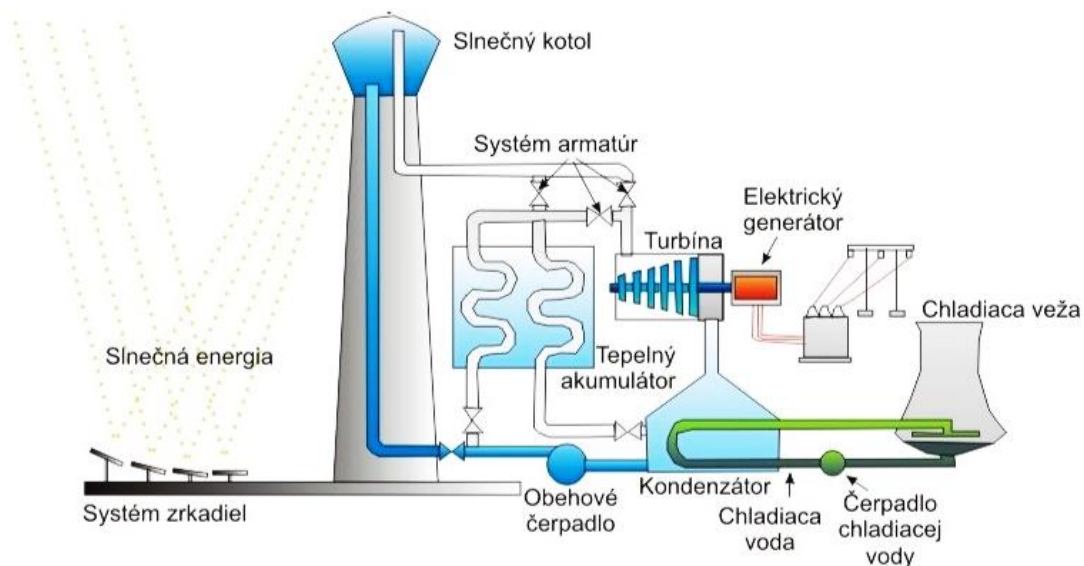
Termálne solárne veže – Solárne veže využívajú kruhové pole osadené veľkými zrkadlami natáčanými smerom k Slnku a koncentrujú lúče do ohniska centrálnej veže (obr. 10.7 a obr. 10.8).



Obr. 10.7 Termálna solárna veža (Slpk, 2020).

Absorbované teplo sa odovzdáva kvapaline, z ktorej sa v parogenerátore vyrába para poháňajúca turbínu vyrábajúcu elektrinu. Natáčanie je riadené počítačom a dvojosové zariadenie zaisťuje, že zrkadlá neustále smerujú lúče do ohniska veže. Kvapalina cirkulujúca

v absorbátore odovzdáva teplo tiež termálnemu zásobníku, z ktorého sa teplo odoberá nielen na výrobu elektriny ale aj pre potreby priemyselných aplikácií. Teploty, ktoré sú dosahované v absorbátore sa pohyujú od 538 °C do 1 482 °C (Slpk, 2020).



Obr. 10.8 Principiálna schéma solárnej vežovej elektrárne (Slpk, 2020).

Komínová slnečná elektráreň – Princíp slnčnej komínovej elektrárne spočíva v ohriatí vzduchu pod skleníkom (obr. 10.9).



Obr. 10.9 Komínová slnečná elektráreň (Volumatrixgroup, 2022).

Slnkom zahriaty vzduch vytvára vzduchové prúdenie, ktoré stúpa cez komín smerom hore. Aby elektráreň mohla pracovať aj v noci, časť slnčného žiarenia ohrieva nádrže

so slanou vodou, ktoré udržujú ťah vzduchu aj bez dopadu slnečného žiarenia. V súčasnosti je v Austrálii vo výstavbe komínová slnečná elektrárň, s výkonom 200 MW.

Solárne absorpčné nádrže – Vyššie opísané solárne koncentračné technológie majú nevýhodu v tom, že bez zariadení na skladovanie energie alebo zálohových systémov na klasické palivá nedokážu vyrábať elektrinu v noci. Skladovanie tepla je však možné aj v prírodných nádržiach, ktoré sa pre tento účel využívajú na výrobu elektriny. Niektoré prírodné vodné nádrže (napríklad Mŕtve more) majú relatívne veľmi vysoký obsah solí, pričom ich koncentrácia rastie smerom od povrchu ku dnu. Charakteristické pre takéto nádrže je, že tu nedochádza k výraznému premiešavaniu a koncentrácia solí zostáva nerovnomerne rozložená. V dôsledku toho dochádza k vyššej absorpcii slnečného žiarenia pri dne nádrže, kde je vysoká koncentrácia solí. Voda s vyššou koncentráciou solí je totiž hustejšia, a preto sa nepremiešava s vyššie položenou vodou. Zohrieva sa natoľko, že dochádza takmer k varu, pričom povrch nádrže je relatívne chladný. Táto horúca spodná voda môže byť využitá ako zásobník, z ktorého sa teplo odvádza cirkulačným potrubím s kvapalinou do turbíny vyrábajúcej elektrickú energiu. Teplotný rozdiel medzi hornou a spodnou vrstvou nádrže je na mnohých miestach dostatočný na výrobu elektrickej energie (Slpk, 2020).

10.3.2. Princíp priamej premeny slnečnej energie na elektrickú energiu

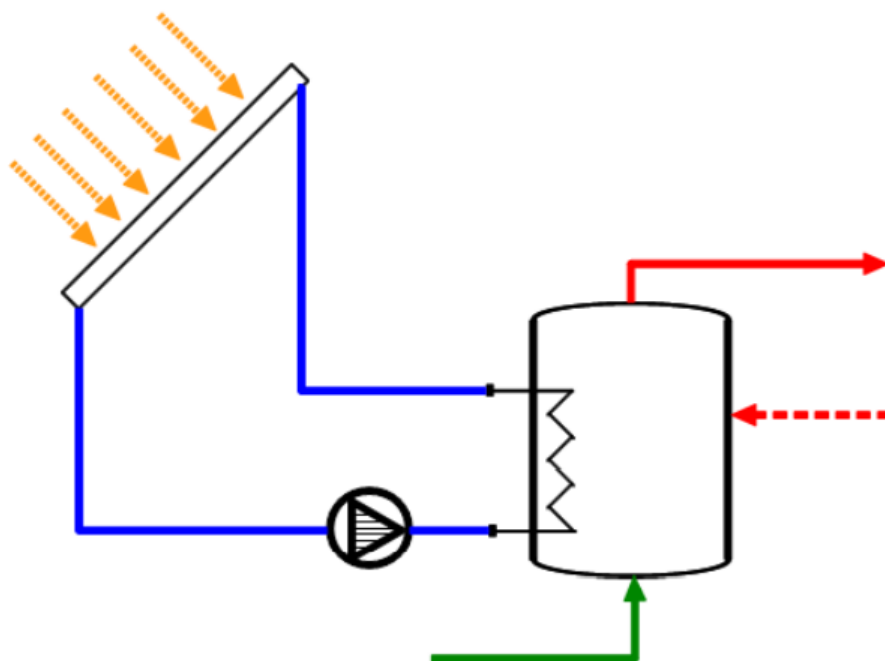
Fotovoltaický článok alebo solárny článok je veľkoplošná polovodičová súčiastka, ktorá priamo premieňa slnečnú energiu na energiu elektrickú pomocou fotoelektrického javu. (Fotoelektrický jav tiež nazývaný aj fotoelektrický efekt alebo fotoefekt je experimentálne pozorovaný jav, kedy svetlo vhodnej vlnovej dĺžky pri dopade na kov alebo polovodič vyráža z atómov látky elektróny, ktoré sa potom voľne pohybujú v látke a zvyšujú jej vodivosť resp. ju opustia). Fotovoltaické články majú mnoho uplatnení. Používajú sa na napájanie malých zariadení (napríklad kalkulačky, solárne hračky), v kozmickom priemysle a taktiež vo veľkom sa začínajú využívať v energetickom priemysle. V súčasnosti je najvyužívanejší materiál na výrobu fotovoltaických článkov kremík. Táto surovina je štvrtá najpoužívanejšia surovina na svete. Na výrobu solárnych panelov sa však využíva približne len 1 % z tohto množstva. Používa sa v niekoľkých podobách ktoré závisia od použitej výrobnéj technológie. Sú to tieto podoby: monokryštalický kremík, polykryštalický kremík, multikryštalický kremík a hydrogenizovaný amorfný kremík. Na výrobu fotovoltaických článkov sa používajú aj iné prvky či zlúčeniny. Patrí medzi ne napríklad arzenid gália, telurid kademnatý, sulfid kademnatý a v neposlednom rade rýchlo sa rozvíjajúce organické zlúčeniny (Slpk5, 2020).

10.4. Výroba tepelnej energie z energie slnečného žiarenia

Tepelnú energiu, ktorá je pre život človeka veľmi dôležitá, je možné získať pomocou premeny dopadajúceho slnečného žiarenia. Najväčšia hodnota vplyvu slnečných lúčov v našich podmienkach je v letných mesiacoch, kedy tepelnej energie je potreba najmenej. Nastáva tak problém, akým spôsobom využiť získanú tepelnú energiu.

Ohrev vody

Príprava teplej vody na zabezpečenie občianskej vybavenosti je obvyklý spôsob využitia tepelnej energie. Slnéčné žiarenie dopadajúce na kolektor ohrieva v primárnom okruhu vykurovacie médium, ktoré odovzdáva tepelnú energiu v zásobníku teplej vode, (obr. 10.10).



Obr. 10.10 Schéma ohrevu teplej vody (Šípál, 2013).

Výroba chladu

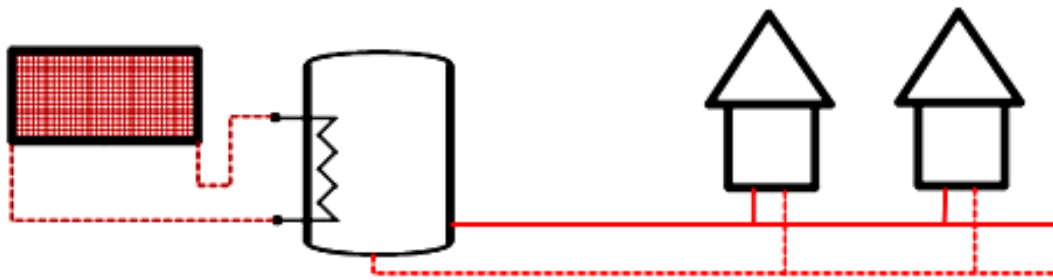
Na zabezpečenie lepšieho komfortu v budovách a zlepšovania tepelnej pohody v nich, sú všetky novo stavané a rekonštruované budovy vybavené klimatizáciou a rozvodom chladu. Na výrobu chladu je možné využiť slnečnú energiu.

Existujú dva spôsoby výroby chladu: absorbčnou metódou alebo pomocou kompresorových chladiacich zariadení, v ktorých je elektromotor kompresora poháňaný elektrinou vyrobenou z fotovoltaických panelov.

Centralizované zásobovanie teplom zo solárnych zdrojov

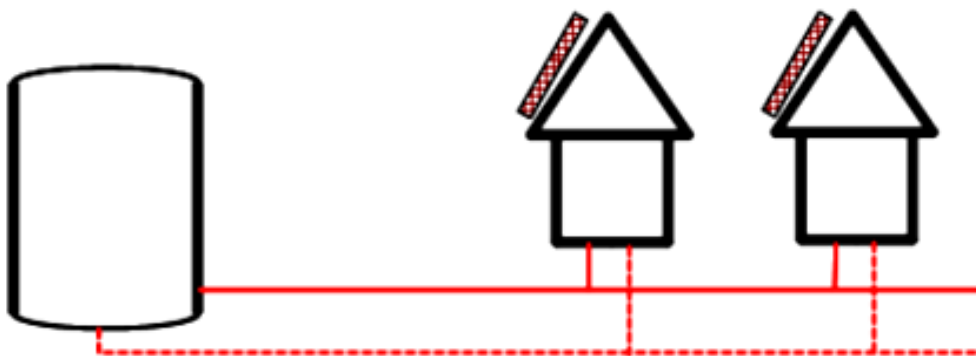
V súčasnej dobe sa solárne systémy využívajú pri sústavách centralizovaného zásobovania teplom (CZT). Na sústavu CZT sú pripojené solárne kolektory, ktoré pridávajú svoje vyrobené teplo k teplu vyrobenému v centrálnom zdroji sústavy CZT.

Spôsob získavania solárneho tepla môže byť pomocou veľkého centrálného kolektora, kedy jeden veľký kolektor zaisťuje ohrev vody, ktorá je dopravovaná k jednotlivým odberateľom, (obr. 10.11).



Obr. 10.11 Zapojenie centrálneho kolektora (Šípál, 2013).

Ďalší spôsob spočíva v inštalácii malých kolektorov, ktoré sú umiestnené na jednotlivých stavebných objektoch. Získaná tepelná energia je spotrebúvaná v danom objekte a prebytky sú dodávané do centrálneho rozvodu tepla, (obr. 10.12).



Obr. 10.12 Zapojenie s jednotlivými kolektormi (Šípál, 2013).

Sústavy CZT môžu byť konštruované ako sústavy:

- *Bez akumulácie tepla.* Plocha solárnych kolektorov je navrhnutá tak, aby pokrývala iba trvalú spotrebu tepla. Solárne teplo pokrýva cca 5 % spotreby sústavy.
- *S krátkodobou akumuláciou tepla.* Plocha solárnych kolektorov je navrhnutá tak, aby bola pokrytá letná spotreba tepla na prípravu teplej vody. Veľkosť zásobníka kryje niekoľkodňové tepelné zisky. Solárne teplo pokrýva cca 10 až 20 % spotreby sústavy.
- *S dlhodobou akumuláciou tepla.* Veľkosť zásobníka je taká, aby teplo získané v letných mesiacoch udržal do zimných mesiacov. Solárne teplo pokrýva cca 50 % spotreby sústavy (Šípál, 2013).

11. PERSPEKTÍVNE TECHNOLOGIE PREMIEN ENERGIE

11.1. Palivové články

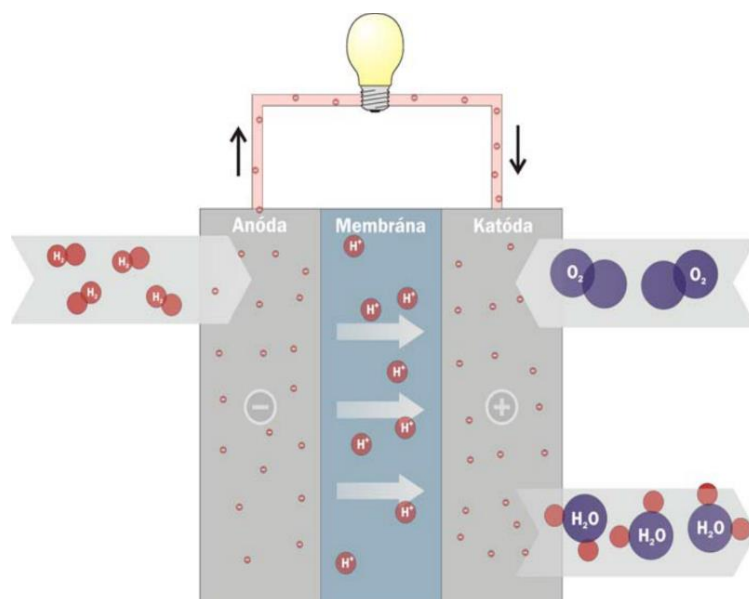
Palivový článok (obr. 11.1) je elektrochemické zariadenie, ktoré premieňa chemickú energiu v palive počas oxidačno-redukčnej reakcie priamo na elektrickú energiu.



Obr. 11.1 Palivový článok (Oplyne.info, 2022).

Objav palivových článkov sa datuje do roku 1839, kedy britský právnik a amatérsky fyzik, sir William Robert Grove (1811 – 1896) objavil základný princíp palivových článkov. Jeho obrátená elektrolýza vody produkovala elektrinu z vodíka a kyslíka na platinových elektródach v kyseline sírovej.

Základná fyzikálna stavba palivového článku (obr. 11.2) sa skladá z poréznej anódy a katódy, medzi ktorými je vrstva elektrolytu.



Obr. 11.2 Základná fyzikálna stavba palivového článku (Jandačka, 2019).

V typickom palivovom článku sa priebežne privádza plynné palivo na anódu (negatívna elektróda) a okysličovadlo (kyslík zo vzduchu) na katódu (pozitívna elektróda). Na elektródach prebieha elektrochemická reakcia, ktorá vyrába elektrický prúd (Vielstich, 2009).

Základný princíp elektrochemického cyklu je pre všetky palivové články spoločný. Konkrétne aplikácie sa však líšia podľa typu použitého paliva a oxidantu, spôsobu reformácie paliva (interne, alebo externe), podľa pracovnej teploty, podľa typu elektrolytu, či inými charakteristikami.

Podľa prevádzkovej teploty:

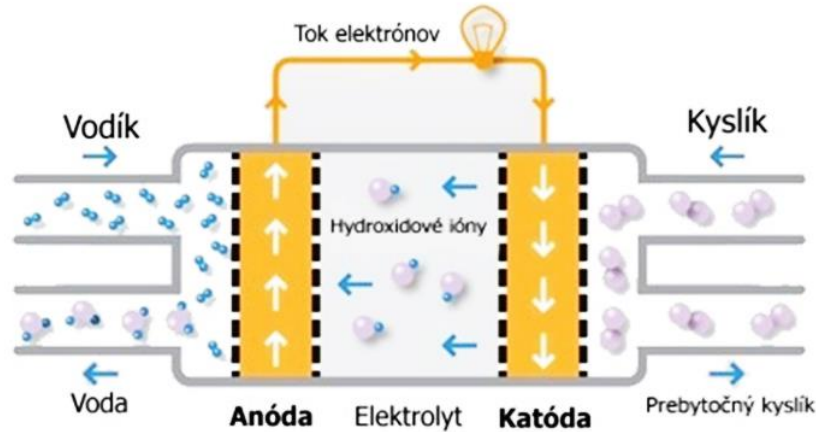
- Nízkoteplotné.
- Strednoteplotné.
- Vysokoteplotné.

Podľa typu elektrolytu:

- Palivové články s alkalickým elektrolytom (AFC).
- Palivové články s polymérou membránou (PEMFC).
- Palivové články s kyselinou fosforečnou (PAFC).
- Palivové články s tavenými uhlíčanmi (MCFC).
- Palivové články s tuhými oxidmi (SOFC).

Prevádzková teplota a životnosť palivového článku sú určujúce faktory pre fyzikálochemické a termomechanické vlastnosti materiálov použitých na výrobu súčastí palivového článku (elektródy, elektrolyt, kontakty, prúdové zberače). Operačná teplota rozhoduje aj o druhu paliva, ktoré je možné použiť v palivovom článku. Nízkoteplotné palivové články s vodnými elektrolytmi sú vo väčšine praktických aplikáciách odkázané na vodík ako palivo. Vo vysokoteplotných palivových článkoch je možné zužitkovať aj CO a CH₄ vďaka lepšej ionizačnej kinetike na elektródach a menšej potrebe vysokoaktívnych katalyzátorov pri zvýšení teploty (Hoogers, 2003).

Alkalické palivové články (obr. 11.3), z angl. Alkaline Fuel Cells (AFC), boli objavené ako jedna z prvých technológií palivových článkov. Navyše ju používal aj Národný úrad pre letectvo a kozmonautiku (NASA) vo svojom vesmírnom programe na výrobu elektrickej energie a vody pre kozmonautov. AFC používajú alkalický elektrolyt, ako je napríklad hydroxid draselný, ktorý je aj vo vode, a sú zvyčajne poháňané čistým vodíkom. Prvé AFC pracovali pri teplote od 100 °C do 250 °C, no dnes sú ich typické prevádzkové teploty okolo 70 °C. V dôsledku nízkej prevádzkovej teploty nie je potrebné v systéme používať platinový katalyzátor a namiesto toho sa ako katalyzátor môže použiť rad iných drahých kovov na urýchlenie reakcií, ktoré sa vyskytujú na anóde a katóde. Nikel je najbežnejšie používaným katalyzátorom v jednotkách AFC. Vzhľadom na rýchlosť, ktorou prebiehajú chemické reakcie, poskytujú tieto bunky pomerne vysokú účinnosť konverzie paliva na elektrickú energiu, v niektorých aplikáciách dosahujú až 60 %.

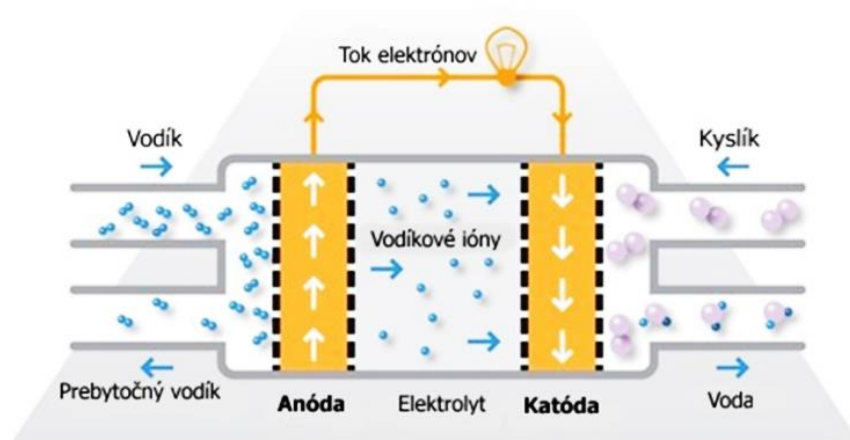


Obr. 11.3 Stavba palivových článkov s alkalickým elektrolytom (*FuelCellToday*, 2019).

Palivové články s polymérnou membránou alebo palivové články s protónovou výmennou membránou, z ang. Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC), používajú ako svoj elektrolyt membránu s kyslým polymérom na báze vody s elektródami na báze platiny. PEMFC fungujú pri relatívne nízkych teplotách (pod 100 °C) a môžu prispôbiť elektrický výkon tak, aby vyhovovali dynamickým požiadavkám na napájanie. Vzhľadom na relatívne nízke teploty a použitie elektród na báze drahých kovov musia tieto články fungovať na čistom vodíku. Palivové články PEMFC sú v súčasnosti vedúcou technológiou pre ľahké úžitkové vozidlá a vozidlá na manipuláciu s materiálmi. Vodíkové palivo sa spracováva na anóde, kde sú elektróny oddelené od protónov na povrchu katalyzátora na báze platiny. Protóny prechádzajú cez membránu na katódovú stranu článku, zatiaľ čo elektróny prechádzajú do vonkajšieho obvodu a generujú elektrický výkon článku. Na strane katódy iná elektróda z drahých kovov spája protóny a elektróny s kyslíkom za vzniku vody, ktorá sa vylučuje ako jediný odpadový produkt. Kyslík môže byť poskytnutý v čistenej forme alebo extrahovaný na elektróde priamo zo vzduchu. Existuje variant palivových článkov s polymérnou membránou, ktorý pracuje pri zvýšených teplotách. Je známy ako vysokoteplotný PEMFC, z ang. High Temperature Proton Exchange Membrane Fuel Cell (HT PEMFC). Zmenou elektrolytu z vody na systém založený na minerálnych kyselinách môžu vysokoteplotné palivové články s polymérnou membránou pracovať až do 200 °C. Tým sa prekonajú niektoré súčasné obmedzenia týkajúce sa čistoty palív s HT PEMFC, ktoré sú schopné spracovať reformát obsahujúci malé množstvá oxidu uhoľnatého. Na obr. 11.7 je znázornený príklad palivového článku s polymérnou membránou (Proton Motor).

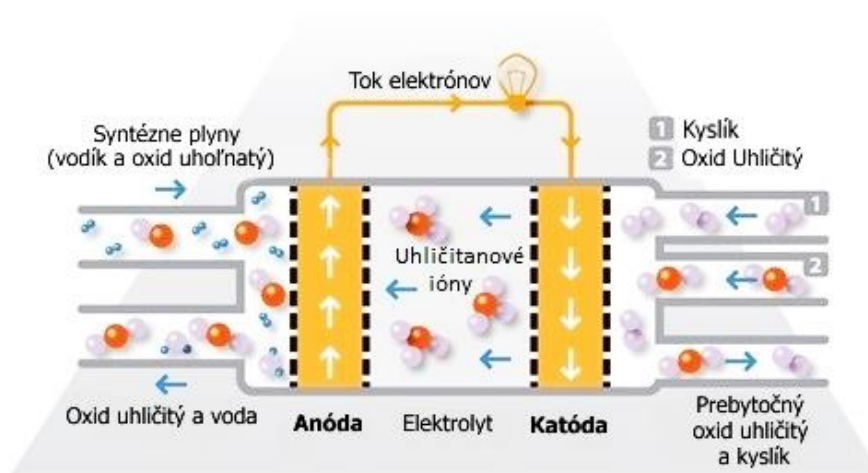
Palivové články s kyselinou fosforečnou (obr. 11.4) pozostávajú z anódy a katódy vyrobenej z jemne disperzného platinového katalyzátora na uhlíku a štruktúry karbidu kremíka, ktorá drží elektrolyt kyseliny fosforečnej. Sú celkom odolné voči otravam oxidom uhoľnatým, ale majú tendenciu mať nižšiu účinnosť ako iné typy palivových článkov pri výrobe elektrickej energie. Avšak tieto články pracujú pri mierne vysokých teplotách okolo 180 °C a celková účinnosť môže byť vyššia ako 80 %, ak je toto teplo využité pre kogeneráciu. Tento typ palivového článku sa používa v stacionárnych generátoroch s výkonom od 100 kW do 400 kW. Väčšina jednotiek palivových článkov predávaných

pred rokom 2001 využívala technológiu palivových článkov s kyselinou fosforečnou (FuelCellToday, 2019).



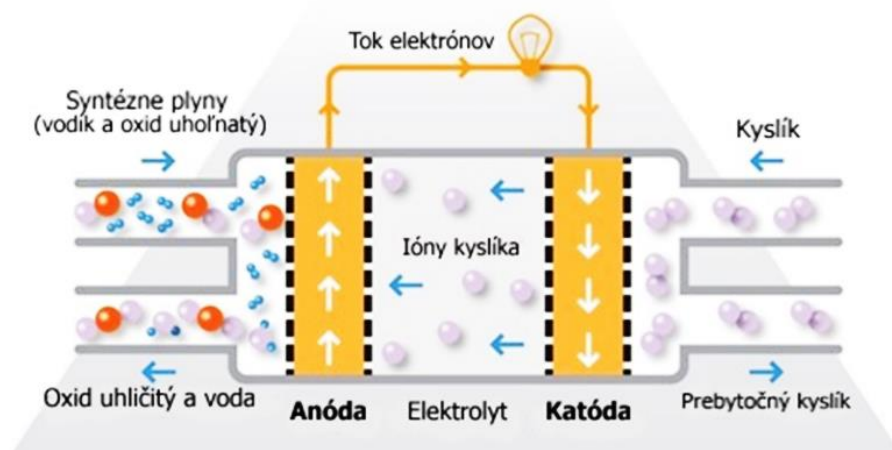
Obr. 11.4 Stavba palivových článkov s kyselinou fosforečnou (FuelCellToday, 2019).

Palivové články s tavenými uhličitanmi (obr. 11.5) používajú roztavenú uhličitanovú soľ suspendovanú v poréznej keramickej matrici ako elektrolyt. Bežne používané soli zahŕňajú uhličitan lítny (Li_2CO_3), uhličitan draselný (K_2CO_3) a uhličitan sodný (Na_2CO_3). Pracujú pri vysokej teplote okolo $650\text{ }^\circ\text{C}$, s čím súvisí niekoľko ich výhod. Napríklad, vysoká prevádzková teplota výrazne zlepšuje reakčnú kinetiku, a preto nie je potrebné zvyšovať ich pomocou katalyzátora na báze ušľachtilého kovu. Vyššia teplota tiež spôsobuje, že článok je menej náchylný na otravu oxidom uhoľnatým ako systémy s nižšou teplotou. Výsledkom toho je, že systémy MCFC môžu pracovať na rôznych palivách, vrátane palivového plynu z uhlia, metánu alebo zemného plynu, čím sa eliminuje potreba externých reformátorov. Nevýhody spojené s jednotkami MCFC vyplývajú skôr z použitia kvapalného elektrolytu ako pevnej látky a požiadavky na vstrekovanie oxidu uhličitého na katódu, pretože uhličitanové ióny sa spotrebúvajú v reakciách, ktoré sa vyskytujú pri anóde. Vyskytli sa aj problémy s vysokou teplotnou koróziou a koróziou povahou elektrolytu, ktoré však teraz možno kontrolovať, aby sa dosiahla praktická životnosť.



Obr. 11.5 Stavba palivových článkov s tavenými uhličitanmi (FuelCellToday, 2019).

Palivové články s tuhými oxidmi (obr. 11.6) pracujú pri veľmi vysokých teplotách. Sú to jedny z najvyšších teplôt zo všetkých typov palivových článkov (približne 800 °C až 1 000 °C). Môžu mať výkonnosť viac ako 60 % pri prepočte paliva na elektrickú energiu. Ak sa využíva aj teplo, ktoré vyrobia, ich celková účinnosť pri prepočte paliva na energiu môže byť vyššia ako 80 %. SOFC používajú pevný keramický elektrolyt, ako je oxid zirkoničitý (ZrO_2), stabilizovaný oxidom yttritým (Y_2O_3) namiesto kvapaliny alebo membrány. Ich vysoká prevádzková teplota znamená, že palivá môžu byť reformované v samotnej palivovej nádrži, čím sa eliminuje potreba vonkajšej reformácie a umožňuje používanie jednotiek s rôznymi uhl'ovodíkovými palivami. Sú tiež relatívne odolné voči malým množstvám síry v palive v porovnaní s inými typmi palivových článkov a môžu sa preto používať s uhoľným plynom. Ďalšou výhodou vysokej prevádzkovej teploty je to, že reakčná kinetika sa zlepšila, čím sa odstránila potreba kovového katalyzátora. Pre vysokú teplotu sú však určité nevýhody: týmto článkom trvá dlhšie spustenie a dosiahnutie prevádzkovej teploty, musia byť skonštruované z robustných, tepelne odolných materiálov a musia byť chránené, aby sa zabránilo tepelným stratám. Existujú tri rôzne geometrické uloženia SOFC: rovinné, koplanárne a mikrotubulárne. V rovinnom vyhotovení sú komponenty zostavené v plochých komorách, kde vzduch a vodík tradične prúdia cez jednotku kanálmi zabudovanými do anódy a katódy. V rúrkovom vyhotovení sa vzduch dodáva do vnútra zväčšenej rúrky z pevného oxidu (ktorá je utesnená na jednom konci), zatiaľ čo palivo preteká okolo vonkajšej strany rúrky. Samotná rúrka tvorí katódu a bunkové zložky sú konštruované vo vrstvách okolo rúrky.



Obr. 11.6 Stavba palivových článkov s tuhými oxidmi (FuelCellToday, 2019).

Jednotlivé uvedené palivové články majú širokospektrálne využitie po celom svete. Mnohé z nich, najmä však palivové články typu AFC, majú vysoký potenciál využitia v budúcnosti. V súčasnosti sa najviac nádeje vkladá do kyslíko-vodíkového palivového článku v rámci vodíkového pohonu automobilov. Vodík je dnes najčastejším palivom, avšak môže byť použitý aj zemný plyn alebo metanol. Vodík sa môže získať napríklad elektrolyzou vody. Kyslík potrebný pre palivový článok môže byť získavaný z atmosféry. Stále to však má svoj nedostatok, a to je skladovanie vodíka v nádržiach automobilov. Vodík v zmesi so vzduchom je vysoko výbušný. Palivové články typu SOFC sa používajú

vo veľkom a malom množstve v oblasti stacionárnej výroby elektrickej energie. Rovinné typy nájdu uplatnenie napríklad v energetických generátoroch s výkonom 100 kW. Systémy s výkonom niekoľkých kilowattov sa testujú na menšie kogeneračné aplikácie tepla a elektrickej energie. Mikrotubulárne palivové články s výkonom v rozmedzí niekoľkých wattov sa vyvíjajú pre malé prenosné nabíjačky. Palivové články typu PAFC sú používané v stacionárnych výkonových generátoroch s výkonom od 100 kW do 400 kW, ktoré napájajú mnohé komerčné priestory po celom svete a nachádzajú sa aj vo veľkých vozidlách, ako sú napríklad autobusy. Palivové články typu MCFC sa používajú pri veľkej stacionárnej výrobe elektrickej energie. Väčšina elektrární s palivovými článkami s megawattovou kapacitou používa MCFC, rovnako ako veľké kombinované zariadenia na výrobu tepla a elektrickej energie a kombinované chladiace a elektrické elektrárne. Využitie palivových článkov vo svete je širokospektrálne a majú veľkú perspektívu do budúcnosti ako ekologický zdroj energie. Samozrejme ich fungovanie je podmienené dostatkom chemických zdrojov ako palív.

Dve najpodstatnejšie vlastnosti palivových článkov sú vysoká efektívnosť a veľmi nízka environmentálna záťaž. Elektrická účinnosť súčasných palivových článkov dosahuje 40 až 55 % nižšej výhrevnej hodnoty (LHV) paliva. Hybridné systémy kombinujúce palivový článok s parnou turbínou dosahujú efektívnosť viac ako 70 % LHV. Súčasný článok uvoľňuje regulované emisie na hranici merateľnosti, takže spĺňajú aj najprísnejšie predpisy. Vysoká efektívnosť palivového článku je prakticky nezávislá od výkonu článku, takže aj malé články, prípadne veľké články zaťažené len na čiastočný výkon pracujú s vysokou účinnosťou, čo nie je možné dosiahnuť pri technológiách založených na cyklickom tepelnom stroji. Palivové články nepotrebujú pohyblivé súčasti, a aj preto je ich prevádzka tichá. Vykazujú vysokú palivovú flexibilitu (môžu byť prevádzkované s rôznymi palivami), ale zároveň sú citlivé na niektoré nečistoty, preto je nevyhnutné čistenie paliva (FuelCellToday, 2019).

Výhody použitia palivových článkov:

- Priama premena energie (bez horenia).
- Žiadne pohyblivé súčasti v meniči energie.
- Tichá prevádzka.
- Minimálna doba servisných odstávok.
- Palivová flexibilita.
- Preukázaná životnosť / spoľahlivosť nízkoteplotných jednotiek.
- Dobré vlastnosti pri prevádzke mimo medzí projektovanej záťaže.
- Modulárna inštalácia, ktorá zodpovedá záťaži a zvyšuje spoľahlivosť.
- Bezobslužná prevádzka v odľahlých lokalitách.

Nevýhody použitia palivových článkov:

- Vysoká tržná vstupná cena.
- Neznáma technológia v energetickom priemysle.
- Chýbajúca infraštruktúra (Jandačka, 2019).



Obr. 11.7 Príklad palivového článku s polymérou membránou (Proton Motor), (Doucek, 2011).

11.2. Mikrobiálne palivové články

Izraelská firma EMEFCY predstavila systém, ktorý pracuje na princípe elektrogénneho bioreaktora (EBR). Je to inovatívne riešenie pre čistenie odpadových vôd, založené na technológii mikrobiálnych palivových článkov. To umožňuje priamu výrobu elektrickej energie z čistenia odpadových vôd. Reaktory pre čistenie odpadových vôd sú jedinečné v porovnaní s inými procesmi čistenia odpadových vôd. EBR (obr. 11.8) sa opiera o tri komponenty pre biologické čistenie odpadových vôd:

- Anódy (v anaeróbných podmienkach).
- Katódy (ktoré sú v styku so vzduchom).
- Elektrický obvod, ktorý zahŕňa vonkajšie zaťaženie, pripojenie anód ku katódam.



Obr. 11.8 EBR systémy (Jandačka, 2019).

Biofilm prirodzene vzniká na anóde a prebieha oxidácia organických látok na oxid uhličitý. Protóny migrujú cez vodu a elektróny sa pohybujú v elektrickom obvode, smerom ku katóde. Reakcia na katóde je kvôli zníženiu vzdušným kyslíkom v prítomnosti protónov

vo vode. Výsledkom je, že organická hmota oxiduje, ako by to bolo v bežných metódach. Avšak, na rozdiel od bežných metód, elektrický prúd je produkovaný, skôr ako je energia spotrebovaná v priebehu procesu.

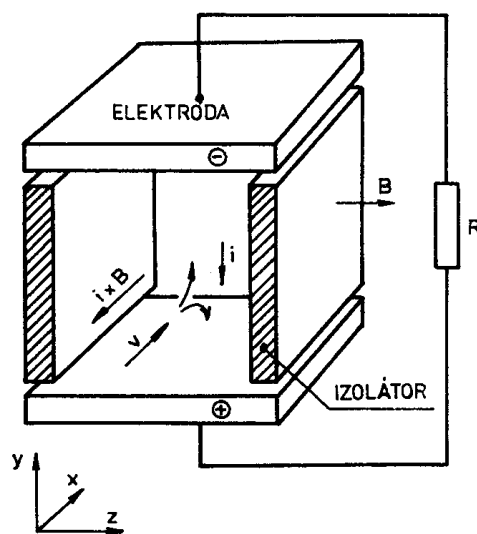
Palivový článok pracuje tak, že katalyticky oddeľuje elektróny a protóny z reakčných zložiek paliva na anóde, a núti elektróny cestovať cez obvod, teda previesť na elektrickú energiu.

Tento produkt spracováva odpadové vody z priemyselných, poľnohospodárskych a komunálnych zdrojov pri priamom generovaní jednosmerného elektrického prúdu. Celý systém môže byť napojený priamo na sieť. Hlavnými výhodami EBR systémov na čistenie odpadových vôd je veľmi nízky výnos kalu a malá spotreba energie (Jandačka, 2019).

11.3. Magneto hydrodynamické generátory

Magneto hydrodynamický generátor (MHD generátor) je zariadenie umožňujúce priamu premenu tepelnej energie na energiu elektrickú. Princíp premeny vychádza zo zákona elektromagnetickej indukcie, kedy dochádza k interakcii rýchleho vodivého média (napríklad plazmy) s magnetickým poľom. Po stranách kanála s prúdiacim médiom sú potom umiestnené elektródy, na ktorých dochádza k vzniku jednosmerného elektrického napätia.

Generátor MHD sa líši od konvenčného elektrického generátora tým, že vodič (definovaný svojou špecifickou vodivosťou) netvorí pevný kov (meď), ale fluidné médium (napríklad plazma, ionizovaný plyn, tekutý kov), ktoré sa pohybuje rýchlosťou v v kanále ležiacom v magnetickom poli (magnetická indukcia B). Pri pravouhlom usporiadaní MHD generátora (obr. 11.9) budú nosiče náboja v indukovanom elektrickom poli odchylené kolmo na rýchlosť (v) a indukciu (B). Elektrický výkon sa odoberá z elektród, ktoré tvoria dve steny kanála, druhé dve steny sú izolanty.



Obr. 11.9 Princíp generátora MHD

(R -záťažný odpor; B -magnetická indukcia; v -rýchlosť; j -prúdová hustota)
(Marko, 1988).

Typická účinnosť premeny energie v samotných MHD generátoroch je od 10 do 20 % a to prevažne kvôli vysokej teplote výstupných spalín. Preto je vhodné tieto generátory predradiť Rankin-Clausiovom cykle, výsledná účinnosť premeny tepelnej energie na elektrickú môže dosahovať až 65 %. Výhodou MHD generátorov je absencia točivých častí, odpadajú mechanické straty trením a nutnosť pravidelnej údržby. Potom sú tieto generátory schopné rýchlejšej a väčšej regulácie výkonu. Pri spojení s klasickou turbínou a generátorom dochádza k lepšiemu využitiu paliva, ako je tomu doteraz. Naopak medzi nevýhody patrí predovšetkým požiadavka na konštrukčné materiály, ktoré musia odolávať vysokej teplote (2 000 °C a viac) a aj nadzvukovým rýchlostiam prúdiaceho ionizovaného média. Dochádza tiež k zanášaniam elektród napríklad ionizačnými prísadami. Používanie MHD generátorov mimo experimentov je skôr výhľad do budúcnosti (napríklad pri riadenej termojadrovej fúzii) (Magnetohydrodynamic (MHD) Power Generation, 2005; Marko, 1988; Riedl, 1971).

11.4. Termojadrová fúzia

Termojadrová fúzia (syntéza) je jadrová reakcia, pri ktorej sa spojením jadier ľahkých kovov vytvorí nové ťažšie jadro a súčasne sa uvoľní energia. Ak sa však má termojadrová fúzia uskutočniť, musia reagujúce jadrá prekonať potenciálovú bariéru a priblížiť sa na dočasne malú vzdialenosť. Základným problémom pri syntéze dvoch jadier je ich vzájomné odpudzovanie vyvolané kladným nábojom oboch jadier. Ak sa však jadrá pohybujú proti sebe s dostatočnou energiou, môžu sa priblížiť natoľko, že jadrové sily s malým dosahom (ktoré zabráňujú rozpadu jadra) prekonajú Coulombove odpudivé sily a umožnia reakciu syntézy.

Na prekonanie bariéry sa využíva energia z chaotického tepelného pohybu. Preto je potrebné zohriať termojadrové palivo na takú teplotu, aby kinetická energia tepelného pohybu jadier stačila na prekonanie potenciálovej bariéry. Táto bariéra predstavuje niekoľko desiatok keV, čomu zodpovedá teplota rádovo 10^8 K. Teploty sa pri fúzii udávajú obyčajne jednotkami energie, pričom zo vzťahu, ktorý existuje medzi energiou častíc a teplotou, platí $1 \text{ keV} = 11,4 \cdot 10^6 \text{ K}$. Pri tejto teplote už látka existuje len v stave plne ionizovanej plazmy, t. j. zmesi holých atómových jadier a voľných elektrónov.

Aj keď kinetická energia tepelného pohybu jadier pri takýchto teplotách stačí prekonať elektrostatické odpudivé sily, neznamená to, že pri ďalšej zrážke dvoch jadier prebehne fúzia. Vždy je väčšia pravdepodobnosť, že častice sa odrazia a nesplynú. Preto treba uzavrieť plazmu do ohraničeného priestoru, z ktorého by častice nemohli uniknúť a udržať ju tam tak dlho, kým časť jadier pri neprestajne opakovaných vzájomných zrážkach neprejde reakciou syntézy.

Pri dostatočne vysokej teplote takmer všetky jadrá prvkov, nachádzajúcich sa na začiatku periodickej tabuľky prvkov, sú schopné reakcie syntézy. V podstate všetky sa môžu využiť ako palivo termojadrového reaktora. Z mnohých dôvodov, ktoré súvisia s priebehom termojadrovej syntézy, sa skúmajú iba jadrá izotopov vodíka, hélia, lítia a bóru.

Pri výbere reakcie syntézy, vhodnej pre termojadrové zariadenie na výrobu energie, je potrebné zohľadniť nasledujúce kritéria:

- Každú fúziu reakciu charakterizuje minimálna teplota zapálenia (prahová energia). Pri menšej teplote je rýchlosť reakcie neprijateľne nízka.
- Na vytvorenie kladnej energetickej bilancie pri danej teplote zapálenia plazmy je potrebné dosiahnuť určitú hustotu plazmy v časovom intervale, aby súčin (hustoty plazmy a času) bol väčší ako určitá minimálna hodnota.
- Z hľadiska vplyvu na životné prostredie nie je vhodná reakcia s prítomnosťou trícia ani ako komponentu, ani ako produktu syntézy.
- Výhodnejšie sú reakcie, pri ktorých vznikajú nabité častice, pretože odpadá aktivácia konštrukčných materiálov neutrónmi a je možná priama premena energie nabitých častíc na elektrickú energiu.

Z hľadiska prvého kritéria sú najvhodnejšie fúzne reakcie na báze izotopov vodíka. Najdôležitejšie syntézy, ktoré môžu mať prakticky význam a ich porovnanie s inými reakciami sú uvedené v tabuľke 11.1.

Tabuľka 11.1 Najdôležitejšie termojadrové reakcie (Marko, 1988).

Reakcia	Prahová energia [keV]	Energetický výťažok [kWh.g ⁻¹]
${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_2\text{He} (0,82 \text{ MeV}) + n (2,45 \text{ MeV})$	35	27 000
${}^2_1\text{D} + {}^2_1\text{D} \rightarrow {}^3_1\text{T} (1,01 \text{ MeV}) + {}^1_1\text{H} (3,02 \text{ MeV})$	35	22 000
${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} (3,67 \text{ MeV}) + {}^1_1\text{H} (14,67 \text{ MeV})$	30	94 000
${}^2_1\text{D} + {}^3_1\text{T} \rightarrow {}^4_2\text{He} (3,5 \text{ MeV}) + n (14,1 \text{ MeV})$	4	98 000
štiepenie ${}^{235}\text{U}$		24 000
$\text{H}_2 + \text{O} = \text{H}_2\text{O}$		0,0044

Najväčšia pozornosť sa v súčasnosti venuje syntéze jadier deutéria a trícia, pri ktorej vzniká jadro hélia ${}^4_2\text{He}$ a neutrón, pričom sa uvoľní 17,6 MeV energie. Táto sa uvoľní vo forme kinetickej energie vzniknutých častíc. Rozdelená je tak, že jej podstatná časť prípadne na menšiu zo vzniknutých častíc t. j. neutrón 14,1 MeV, čo je asi 80 % celkovej uvoľnenej energie.

Kritérium, ktoré je potrebné zohľadniť, je Lawsonovo kritérium. Podľa neho sa určuje čas, počas ktorého je nevyhnutné udržať teplotu plazmy (T) a jej hustotu, aby sa získala termojadrová energia, ktorá prevýši začiatočnú tepelnú energiu plazmy.

K dispozícii je impulzný termojadrový reaktor, v ktorom sa termojadrové palivo rýchlo zohreje na teplotu (T). Preto treba udržať plazmu pri danej teplote v čase (τ), kedy prebiehajú termojadrové reakcie.

Vytvorenie plazmy pre takéto reakcie je však veľmi namáhavé, pretože okrem megaelektrónvoltovej teploty sa predpokladá prítomnosť silných magnetických polí a počíta sa aj so zmenšením účinného prierezu reakcie so zvyšujúcou sa teplotou a výskytom iných abnormalít (Marko, 1988).

11.5. Vodíková energetika

Vodíková energetika je predmetom intenzívneho výskumu a vývoja skoro vo všetkých krajinách. Väčšina odborníkov predpokladá, že riešenie energetických problémov bude možné vtedy, ak sa budú využívať v úlohe primárnych energetických zdrojov jadrové palivá, novoobjavené energetické zdroje a uhlie. Ako nositeľ energie bude slúžiť vodík a plynné palivá na báze vodíka (Marko, 1988).

11.5.1. Vodík

Vodík je svetu dlho známy plyn, objavil ho v roku 1776 britský vedec Henry Cavendish. Vodík v dobe svojho objavu nenašiel v priemysle širšie uplatnenie, a to najmä kvôli nástupu lacnejších fosílnych palív v 19. a 20. storočí. O rozmach využitia vodíka sa zaslúžili v 60. rokoch 20. storočia vesmírne výskumné misie, akými boli napríklad misie programu Apollo. Vodík sa v tej dobe používal primárne ako palivo pre vesmírne rakety. Počas kozmických letov misie Apolla sa navyše využívala na palube technológia vodíkových palivových článkov na výrobu elektriny, tepla a vody. Napríklad v českej republike sa vodík využíval ako jedna z hlavných zložiek svietiplynu, ktorý bol neskôr nahradený zemným plynom.

Vodík je najľahší plynný chemický prvok, ktorý tvorí až dve tretiny celej vesmírnej hmoty. Odhaduje sa, že tvorí viac ako 30 % celkovej hmotnosti Slnka. Ide o tretí najrozšírenejší prvok na Zemi, napriek tomu sa nevyskytuje takmer vôbec ako samostatná molekula, pretože je vysoko reaktívny a okamžite tvorí zlúčeniny. Vodík je všadeprítomný, či už vo forme vody, zemného plynu, alebo metanolu. Tým, že je najjednoduchším a najľahším prvkom, sa veľmi rýchlo pri úniku rozptyľuje do vzduchu. Vodík pri úniku neznečisťuje životné prostredie žiadnym spôsobom. Ide o bezemisnú látku, ktorá nie je toxická a nemá žiadny zápach. Vodík je horľavý, ale horenie nepodporuje, pričom horí bezfarebným plameňom.

11.5.2. Využitie vodíka

Vodík má široké uplatnenie v doprave, energetike aj v priemysle.

- *V doprave* je vodík hlavným konkurentom batériových elektromobilov. Vodíkové automobily majú dlhší dojazd (600 km a viac), krátky čas plnenia (cca 5 minút), fungujú lepšie za chladných podmienok, kedy dochádza k výrazne menším stratám dojazdu a zároveň majú nižšiu spotrebu pri vyšších rýchlostiach. Strata dojazdu pri vyšších rýchlostiach sa rádovo rovná

spaľovacím automobilom. Oproti batériám sa uprednostnenie vodíka predpokladá najmä pri ťažkej nákladnej doprave, autobusovej doprave a v ďalších typoch prepravy na dlhšie vzdialenosti. Vodíková mobilita dnes funguje na princípe palivových článkov, ktoré vyrábajú elektrinu priamou elektrochemickou reakciou vodíka a kyslíka na vodu.

- *V energetike* je možné vodík využiť ako úložisko energie. Vzhľadom na to, že v sebe vodík uchováva veľké množstvo energie (cca 33 kWh.kg⁻¹) a je možné ho jednoducho veľkokapacitne skladovať, je vodík ideálnym médiom na sezónnu akumuláciu energie (v rádoch TWh). Tam, kde zlyhávajú batériové technológie, teda vo vykrývaní dlhodobých nedostatkov elektrickej energie v prenosovej sústave, funguje vodík ako ideálna alternatíva. Takto uskladnený vodík, či už v zásobníkoch, alebo v plynovej sústave, sa môže následne pomocou technológie palivových článkov opäť premeniť v kombinácii s kyslíkom na elektrinu.
- *V priemysle* môže vodík nahradiť fosílna palivá. V oceliarstve je pomocou neho možné napríklad redukovať železo. Vodík sa dnes primárne využíva na výrobu amoniaku, ktorý sa následne využíva najmä pri výrobe a spracovaní hnojív. Medzi ďalšie priemyselné využitie vodíka patrí napríklad výroba polymérov a výbušnín. Vo svete existujú tiež pilotné projekty, ktoré testujú využitie spaľovania vodíka miesto uhlia (Nvas, 2019).

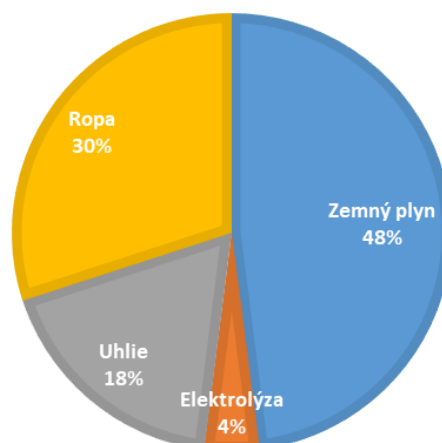
Súčasný energetický a dopravný systém je založený na fosílnych palivách a obidva produkujú veľké množstvo CO₂, ktorý je skleníkovým plynom. Bezpečnosť zásobovania a klimatické zmeny predstavujú problematiku týkajúcu sa budúcnosti energetiky. Kvôli tejto problematike sa hľadá cesta, ako dosiahnuť obmedzenie emisií pri poskytovaní energie potrebnej pre udržiavanie ekonomiky. Táto problematika spolu so znečisťovaním vzduchu a rastúcou cenou energetických služieb má veľký vplyv na svetovú politiku.

Dopravný sektor závisí predovšetkým na rope, ktorá tvorí 18 % z využitia primárnej energie a 17 % svetových emisií CO₂, ktoré vznikajú pri spaľovaní. Väčšina emisií pochádza z cestnej dopravy a očakáva sa nárast jej produkcie vďaka nárastu dopytu po doprave v dôsledku zvyšujúcej sa svetovej populácie a rozvíjajúcej sa ekonomiky. V dnešnej dobe predstavuje ropa 34 % využitia energetických zdrojov a viac ako 95 % dopytu energetických zdrojov pre dopravu. Toto všetko vedie k hľadaniu alternatívnych palív. Jedno z týchto alternatívnych palív predstavuje vodík.

Vodík je sekundárny zdroj energie, pretože sa musí vyrábať. Pre jeho výrobu je potreba využitia primárnych zdrojov energie. Pretože tieto zdroje v súčasnosti predstavujú najmä fosílna palivá, ktoré sú dostupné, celkom lacné a majú rozvinutú infraštruktúru, tak bude najskôr výroba vodíka v blízkej budúcnosti závislá najmä na nich.

Súčasne technológie na výrobu vodíka predstavuje elektrolýza, reforming zemného plynu, parciálna oxidácia ropných frakcií a splyňovanie uhlia. Na obr. 11.10 je znázornené súčasné využitie týchto zdrojov pre výrobu vodíka (Studynka, 2012).

■ Zemný plyn ■ Elektrolýza ■ Uhlie ■ Ropa



Obr. 11.10 Zdroje využívané v súčasnosti pre výrobu vodíka (Studynka, 2012).

11.5.3. Výroba vodíka

Slovenská republika má kvôli svojmu špecifickému postaveniu v srdci Európy relatívne malý potenciál na výrobu tzv. zeleného vodíka. Koeficient využitia (cca mierne nad 20 %) veterných elektrární je u nás nižší ako v susedných prímorských štátoch, kde na pobrežiach morí vanú silné a stabilné vetry (cca nad 30 %). V súčasnosti v Českej republike neexistuje žiadny veľký elektrolyzér, ktorý by bol určený na výrobu zeleného vodíka na komerčnej báze. Napriek tomu v Českej republike veľké elektrolyzéry existujú, používajú sa ale primárne na výrobu iných chemických látok a tzv. biely vodík tu vzniká iba ako vedľajší produkt. Najviac vodíka v Slovenskej republike vyrába spoločnosť Duslo a.s., ktorá pomocou parnej reformácie zemného plynu vyrobí ročne 100 tisíc ton vodíka, ktorý ďalej spotrebováva najmä na výrobu čpavku (Nvas, 2019).

11.5.4. Výrobné technológie vodíka

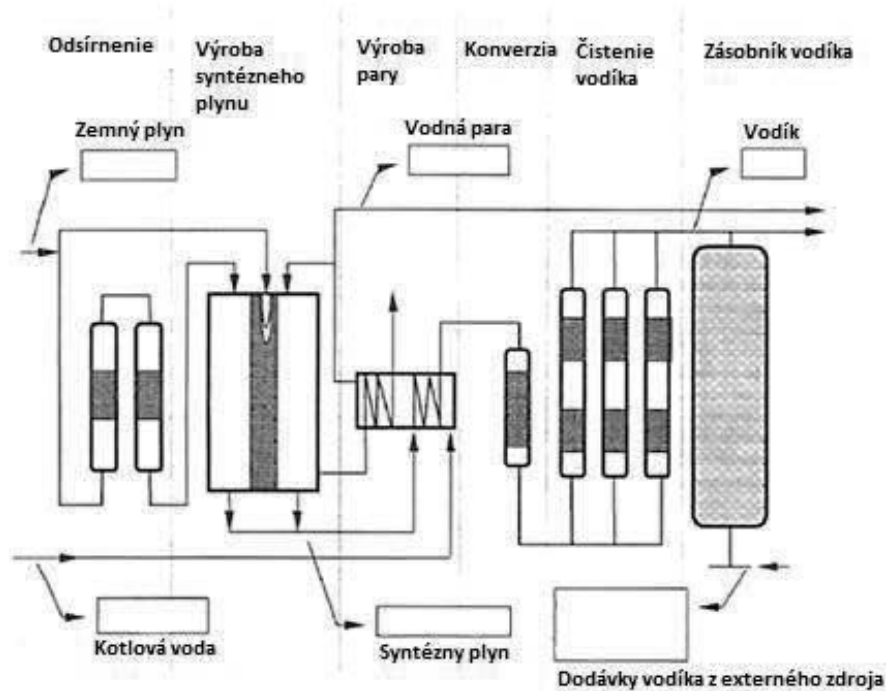
V tejto časti sú vybrané niektoré, najrozšírenejšie, resp. v súčasnej dobe najperspektívnejšie technológie výroby vodíka.

Parný reforming, parciálna oxidácia, splyňovanie

Parné reformovanie je v súčasnosti najlacnejším a najrozšírenejším spôsobom výroby vodíka. Princípy výroby vodíka sa líšia podľa charakteru vstupnej suroviny. Pokiaľ technológia vychádza zo zemného plynu a ľahkých ropných frakcií hovorí sa o tzv. parnom reformovaní, pokiaľ je surovinou ťažký vykurovací olej ide o parciálnu oxidáciu. Termochemické spracovanie uhlia je označované ako splyňovanie.

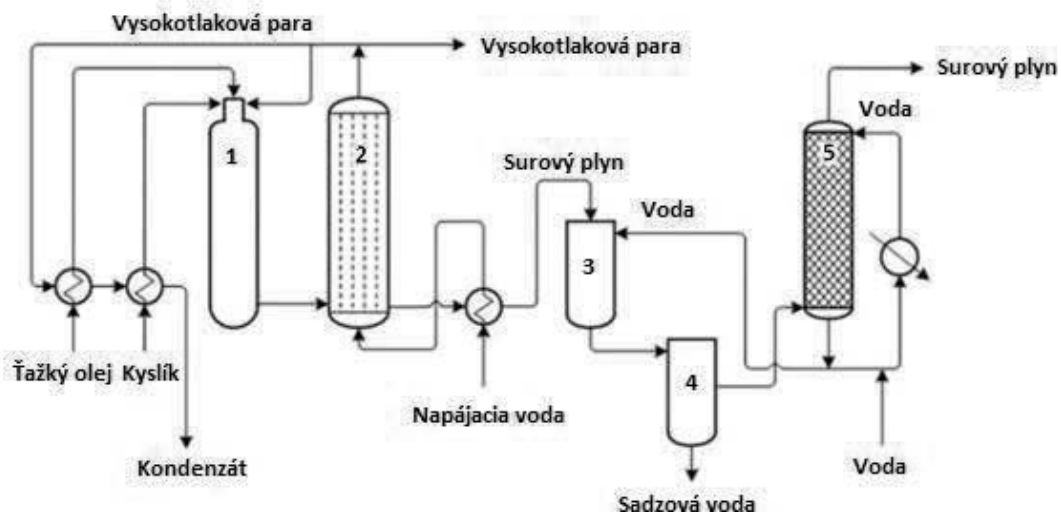
Parný reforming – Pri parnom reformovaní sú východiskové látky rozkladané pri teplotách približne 800 °C a pri tlakoch do 4 MPa vodnou parou za použitia vhodných katalyzátorov. Parný reforming prebieha v primárnych reformovacích peciach. Ako katalyzátor sa používa oxid nikelnatý. Plynná zmes obsahuje po primárnom reformingu približne 8 % metánu. Tento zvyškový metán vstupuje do sekundárnych reformovacích (šachtových) pecí. Rovnako tie sú naplnené katalyzátorom na báze oxidu nikelnatého.

Tu je časť plynu spálená privedeným vzduchom. Tým dôjde k zvýšeniu teploty na 1 000 až 1 200 °C. Za týchto podmienok metán reaguje s kyslíkom za vzniku vodíka, oxidu uhoľnatého a čiastočne aj oxidu uhličitého. Použitím tejto metódy je možné získať zmes vodíka a oxidu uhoľnatého. Na obr. 11.11 je znázornená schéma parného reformovania.



Obr. 11.11 Schéma parného reformovania (Jandačka, 2019).

Parciálna oxidácia – Prebieha pri teplotách 1 200 až 1 500 °C a tlaku medzi 3 a 4 MPa bez prítomnosti katalyzátora. Vstupnú surovinu nie je potrebné odsíriť. Ako vedľajší produkt vznikajú pri parciálnej oxidácii sadze. Na obr. 11.12 je znázornená schéma parciálnej oxidácie.



Obr. 11.12 Schéma parciálnej oxidácie ťažkých ropných olejov (1-generátor; 2-kotol na výrobu pary; 3-chladič; 4-separátor; 5-práčka) (Jandačka, 2019).

Splyňovanie – Pri procese splyňovania je uhlie čiastočne oxidované vzduchom a vodnou parou pri vysokých teplotách za vzniku zmesi vodíka, oxidu uhoľnatého, oxidu uhličitého, metánu a dusíka. Takmer 30 až 40 % vstupujúceho uhlia je spálené pri dosiahnutí a následnom udržiavaní požadovanej prevádzkovej teploty 1 200 °C.

V súčasnej dobe nie sú tieto technológie vzhľadom k vysokej energetickej náročnosti v porovnaní s predchádzajúcimi postupmi rozšírené. Nie je však vylúčené, že na splyňovanie uhlia môžu byť v budúcnosti použité vysokoteplotné jadrové reaktory pracujúce pri teplote 950 °C.

Ďalší technologický krok výroby čistého vodíka predstavuje odstránenie oxidu uhoľnatého z reakčnej zmesi. Najvhodnejší spôsob predstavuje jeho konverzia pomocou vodnej pary za vzniku vodíka a oxidu uhličitého. Z hľadiska rovnovážneho zloženia reakčnej zmesi je výhodné pracovať pri nižších teplotách. Takzvaná vysokoteplotná konverzia prebieha pri teplotách 340 až 380 °C. Ako katalyzátor slúži oxid železitý a oxid chromitý. Tieto katalyzátory sú vysoko citlivé na katalytické jedy, najmä na zlúčeniny síry. Ak vstupná zmes obsahuje viac zlúčenín síry (najmä z parciálnej oxidácie ťažkého vykurovacieho oleja), je vhodnejšie použiť katalyzátory na báze kobaltu a molybdénu. Pri tzv. nízkoteplotnej konverzii je používaná teplota v rozsahu 200 až 250 °C a katalyzátor na báze oxidu meďnatého a zinočnatého. Rovnako tieto katalyzátory sú veľmi citlivé na obsah síry v surovinách. Po tomto kroku obsahuje reakčná zmes približne 0,3 až 0,5 obj. % zvyškového oxidu uhoľnatého.

Nasledujúcim krokom čistenia reakčnej zmesi je odstránenie vzniknutého oxidu uhličitého a aj sulfánu. Je možné použiť chemický alebo fyzikálny princíp. V procesoch, pre ktoré čistota vodíka docielená týmito postupmi nie je dostačujúca, je potrebný vodík, prípadne zmes vodíka s dusíkom dočistiť, aby boli kvantitatívne odstránené predovšetkým kyslíkaté zlúčeniny. Na odstránenie väčšieho množstva oxidu uhoľnatého (v prípade použitia vysokoteplotnej konverzie $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$), je možné použiť vypieranie kvapalným dusíkom. Ak bola použitá nízkoteplotná konverzia, dosahuje zvyškový obsah oxidu uhoľnatého iba 0,1 až 0,3 obj. %. V takom prípade je možné zvyškový oxid uhoľnatý aj uhličitý hydrogenovať na metán za použitia exotermickej reakcie s vodíkom pri teplote 250 až 350 °C a tlaku 3 MPa na niklovom katalyzátore.

Elektrolýza vody

Elektrolýza je proces, pri ktorom dochádza k elektrochemickému rozkladu vody vložením jednosmerného napätia na elektródy elektrolyzéra. Prechodom elektrického prúdu elektrolytom dochádza k pohybu kladných iónov k zápornej elektróde a záporných iónov ku kladnej elektróde. Na katóde potom dochádza k vývoju vodíka, na anóde kyslíka. Proces elektrolýzy môže prebiehať za normálnych teplôt. Ideálne napätie dekompozície je 1,229 V, reálne napätie sa pohybuje v rozmedzí 1,85 – 2,05 V. Týmto spôsobom sú vyrobené asi 4 % z celkovej svetovej produkcie vodíka. Spotreba energie je v moderných elektrolyzéroch asi 47,8 – 53,4 kWh.kg⁻¹. Účinnosť procesu sa pohybuje v rozmedzí 70 – 80 %. K výhodám elektrolýzy patrí možnosť použitia rôznych zdrojov vstupnej energie a vysoká čistota vodíka. Nevýhodou môže byť vysoká cena elektrickej energie.

Konvenčná elektrolyza je preto výhodná najmä tam, kde je lacná elektrická energia a dostatok vody. Na celkovej účinnosti elektrolytickej výroby vodíka sa podieľa predovšetkým účinnosť výroby elektrickej energie, ktorá je pre existujúce zdroje 20 – 30 %. Celková účinnosť elektrolyzy sa potom pohybuje v rozmedzí 25 – 35 %.

Vysokoteplotná elektrolyza

Pre vysokoteplotnú elektrolyzu, nazývanú niekedy ako parná elektrolyza, je charakteristické, že časť dodávanej energie tvorí elektrická energia, a časť je privedená vo forme tepla. Do elektrolyzéra vstupuje zmes pary a vodíka (asi 10 % hm. vodíka). Vodík udržuje redukívne prostredie na katóde a je nevyhnutný pre fungovanie elektrolyzy. Ión kyslíka prechádza membránou a po oxidácii na anóde je odvádzaný zo systému. Výstupný prúd obsahuje asi 90 % hm. vodíka (zvyšok para). Voda je potom oddelená v kondenzačnej jednotke. Časť vodíka sa vracia späť do systému. Prevádzkové podmienky procesu vyžadujú teploty v rozmedzí 600 – 1 000 °C. Výhodou je zvýšenie účinnosti procesu vďaka zníženej spotrebe elektrickej energie z dôvodu zníženia rovnovážneho napätia a ľahšiemu prekonaniu aktivačnej bariéry na povrchu elektródy.

Termochemické cykly

Termochemické cykly sú známe už viac ako 35 rokov. Intenzívne boli študované na prelome 70. a 80. rokov 20. storočia. Pri termochemickom štiepení vody je voda rozdelená na kyslík a vodík pomocou série chemických reakcií, ktoré sú iniciované teplom, alebo v prípade hybridných cyklov teplom a elektrickou energiou. Sú to cykly uzavreté, t. j. použité chemické látky sú v priebehu reakcií recyklované a znovu vstupujú do procesu. Doplňovanou vstupnou surovinou je iba voda a výsledným produktom je vodík a kyslík. Jedným z najznámejších termochemických cyklov je siričito-jódový termochemický cyklus (obr. 11.13). Vstupnou surovinou je voda a vysokopotenciálne teplo; výstupnými surovinami sú kyslík s vodíkom a nízkopotenciálne teplo.

Pri produkcii vodíka prebiehajú nasledujúce reakcie:



V reakcii (11.1), známej tiež ako Bunsenova reakcia, vstupujúca voda reaguje s jódom a oxidom siričitým za vzniku kyseliny sírovej a jodovodíka. Reakcia je exotermická a je z nej odvádzané teplo s teplotou 120 °C.

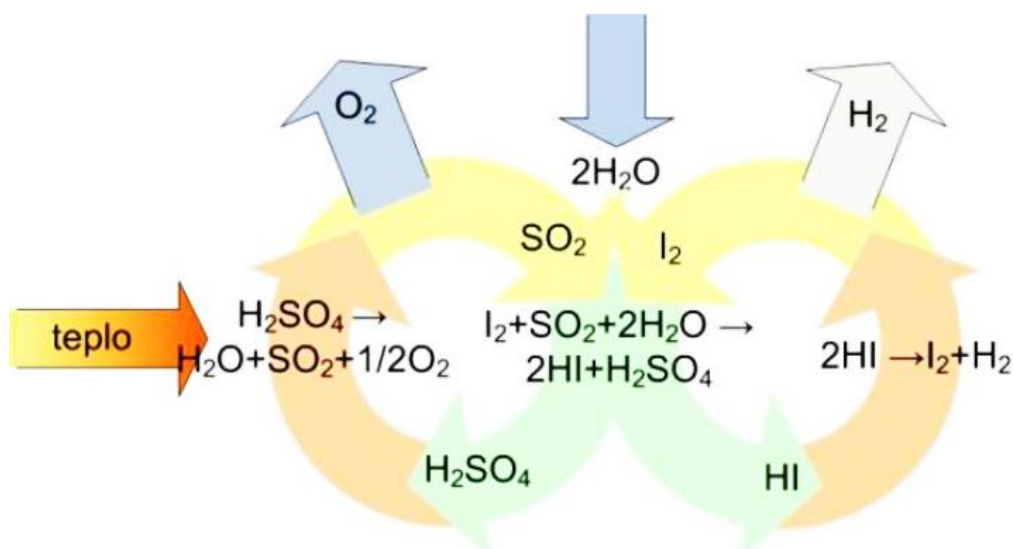


V reakcii (11.2) prebieha endotermický rozklad kyseliny sírovej, ktorý vyžaduje teplo s teplotou 800 – 1 000 °C. Dôvodom sú vysoko agresívne podmienky a nutnosť použitia chemicky odolných materiálov.



V reakcii (11.3) prebieha rozklad jodovodíka, ktorý vyžaduje teploty nižšie ako 450 °C. Tento rozklad je ale problematický v separácii neobvyklej azeotropnej zmesi HI, H₂, I₂ a vody. Na riešenie je možné použiť kombinovanú technológiu elektrodialýzy

a membránovej separácie. Takto získaný vodík dosahuje čistotu nad 99 %. Účinnosť celého výrobného cyklu vodíka je v rozmedzí 40 – 52 %. Nevýhody tohto cyklu sú požiadavky vysokých vstupných teplôt a vysoké nároky na chemickú odolnosť použitých materiálov, z dôvodov agresivity kyseliny sírovej a kyseliny jodovodíkovej (Doucek, 2011).



Obr. 11.13 Principiálne znázornenie termochemického cyklu (Doucek, 2011).

11.5.5. Doprava, skladovanie a distribúcia vodíka

Postupy pri skladovaní, doprave a distribúcii vodíka sú v mnohom analogické s obdobnými procesmi pri zemnom plyne. Vodík možno uskladňovať a prepravovať v kvapalnom alebo plynnom skupenstve, prípadne viazaný v hybridoch.

Uskladnenie vodíka sa líši od uskladnenia zemného plynu najmä v týchto faktoroch:

- Vodík má trikrát menší energetický obsah v jednotke objemu ako zemný plyn.
- Vodík sa musí podstatne viac ochladiť, pokiaľ má byť skvapalnený.
- Vodík má vysoké prienikové schopnosti, ktoré spôsobuje jeho vysoká difúzna rýchlosť, preto je nevyhnutné konštruovať nové typy ventilov a tesnení.

Malé množstvá vodíka možno uskladniť v tlakových fľašiach. Veľké množstvá sa uskladňujú v podzemných zásobníkoch. Kvapalný vodík možno uskladniť v zásobníkoch s kvalitnou tepelnou izoláciou.

Ako veľmi perspektívne sa javí uskladnenie vodíka vo viazanom stave. Používajú sa pri ňom kryoadsorbéry (pri teplotách nižších ako 150 K) a intermetalické zliatiny vytvárajúce hydridy (pri teplotách väčších ako 150 K).

Preprava plynného vodíka by sa dala najvhodnejšie realizovať potrubím, podobne ako zemný plyn. Na veľké vzdialenosti (1 000 až 1 500 km) je najvýhodnejšie prevážať kvapalný vodík vodnou dopravou (v tankeroch) a cestnou dopravou (v cisternách). Diaľková preprava kvapalného vodíka potrubím je nevýhodná vzhľadom na vysokú cenu tepelnej izolácie (Čarnogurská, 2001).

11.5.6. Bezpečnosť vodíka

Takmer všetky palivá sú nejakým spôsobom nebezpečné. Vysoká hustota energie, horľavosť a výbušnosť sú vlastnosti, ktoré sú spoločné všetkým druhom palív. Skladovanie takýchto palív v priestore vozidla predstavuje riziko vznietenia prípadne výbuchu paliva mimo spaľovacej komory tepelného motora alebo palivového článku. Vodík nie je v tomto ohľade výnimkou, napriek tomu je jeho správanie v mnohých ohľadoch veľmi odlišné od existujúcich fosílnych palív.

- Vodík tvorí spolu so vzduchom horľavú a výbušnú zmes v širokom rozsahu koncentrácií (4 – 75 % objemu pre horľavú zmes a 19 – 59 % objemu pre výbušnú zmes).
- Pri rýchlej expanzii môže dôjsť k samovznieteniu.
- Vodík má veľmi nízku zápalnú energiu, už veľmi malý elektrostatický náboj (0,02 J) môže iniciovať vzplanutie paliva.
- Nízka viskozita a malá veľkosť vodíkovej molekuly kladú zvýšené nároky na utesnenie palivovej sústavy.
- Únik vodíka nie je možné rozpoznať ľudskými zmyslami.
- Veľmi nízka hustota plynu napomáha rýchlemu rozptylu do okolia, a teda k rýchlemu zníženiu koncentrácie pod zápalnú hranicu.
- Neboli zistené toxické účinky na človeka, pri horení nevznikajú toxické splodiny.
- Za denného svetla nie je vodíkový plameň takmer viditeľný.

U konvenčných skladovacích systémov je vodík skladovaný v nádobách za veľmi nízkych teplôt prípadne za vysokých tlakov. Takéto systémy sú veľmi náchylné na porušenie plášťa skladovacej nádoby. Pri mechanickom poškodení nádoby môže dôjsť vo veľmi krátkom čase k úniku celého obsahu nádrže a k prípadnému vzplanutiu alebo výbuchu.

Pri skladovaní vodíka v kryogénnej nádrži dochádza vplyvom prestupu tepla k pozvoľnému odparovaniu. V prípade, keď je odparený vodík jednoducho vypúšťaný do atmosféry je nutné dodržať zvýšené bezpečnostné opatrenia, aby sa zabránilo hromadeniu vodíka v uzavretých priestoroch.

Veľmi nízka teplota skladovaného vodíka predstavuje pre človeka vážne zdravotné riziko. Pri kontakte s pokožkou môže dôjsť ku kryogénnym popáleninám, omrzlinám a podchladeniam, pri vdýchnutí studených pár potom k vážnemu poškodeniu pľúc. Nebezpečné môžu byť aj vysoko podchladené kovové časti palivového systému, pri manipulácii s takými časťami systému je nevyhnutné používať ochranné rukavice. Pri alternatívnych systémoch skladovania vodíka je vodík viazaný v štruktúre materiálu, pri poruche plášťa nádrže teda nedochádza k rýchlemu úniku mimo nádrž vozidla (Dlouhý, 2007; Míka, 2021).

11.6. Akumulácia tepla

Akumulácia tepla je schopnosť materiálu udržať teplo a preniesť tepelnú energiu z obdobia relatívneho prebytku do obdobia relatívneho nedostatku. Schopnosť látky akumulovať teplo závisí od jej celkovej tepelnej kapacity. Akumulačná schopnosť rastie úmerne so špecifickou hmotnosťou materiálu. Tepelná kapacita látky priamo ovplyvňuje množstvo akumulovaného tepla v látke vo vzťahu k objemu. Čím je tepelná kapacita vyššia, tým je potrebný menší objem látky na akumuláciu istého množstva tepla. Významnou vlastnosťou je aj tepelná vodivosť, ktorá ovplyvňuje prenos tepla na rozhraní medzi látkou, ktorá akumuluje teplo a teplonosnou látkou, ktorá teplo distribuuje z akumulačného systému na miesto odberu. Vyššia tepelná vodivosť zabezpečí lepší prenos tepla a zvýšenie účinnosti. V neposlednom rade je dôležitá aj reverzibilita látky, t. j. schopnosť opakovane sa ohrievať / ochladzovať bez degradácie materiálu. Ďalšie požiadavky sú stabilita, chemická kompatibilita, nízka toxicita, horľavosť a cenová dostupnosť (Asb, 2019). Teplo môže byť akumulované vo veľmi dobre izolovaných kvapalných a pevných látkach.

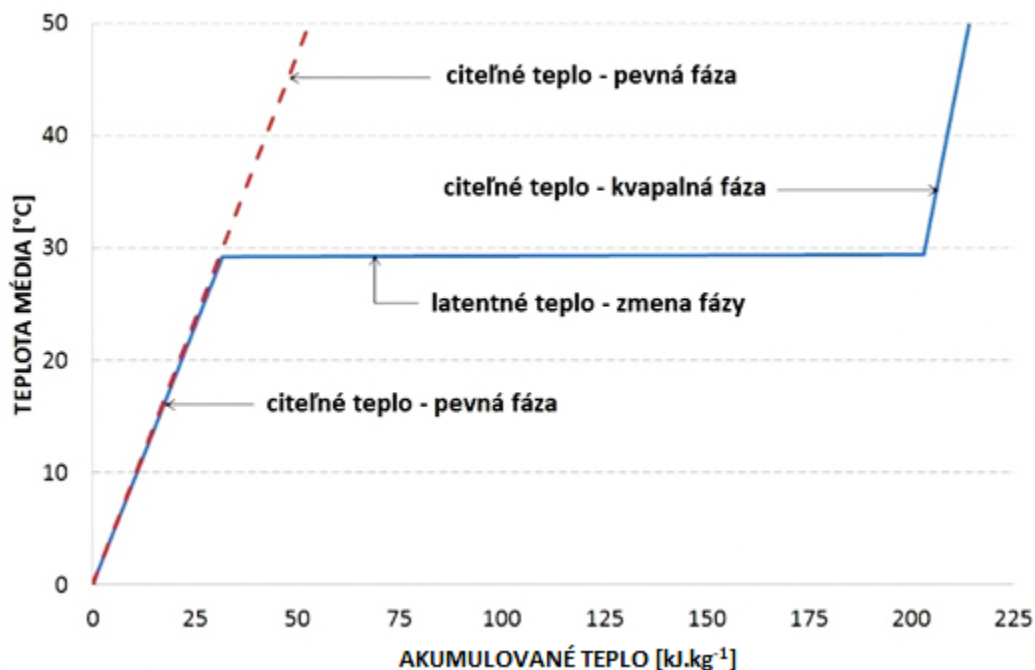
Teplo je možné akumulovať prostredníctvom:

- Citeľného tepla v závislosti od mernej tepelnej kapacity materiálu.
- Latentného tepla v závislosti od latentného tepla skupenskej premeny.
- Kombinácie vyššie uvedených metód.
- Termochemických procesov.

Akumulácia citeľného tepla využíva tepelnú kapacitu a zmenu teploty akumulačného média v priebehu procesu nabíjania a vybíjania. Teplota média vzrastá v okamžiku, kedy je absorbované teplo a klesá pri uvoľňovaní tepla z média. Pri tomto spôsobe akumulácie tepla je možné počítať s kompletnou reverzibilitou procesu nabíjania a vybíjania a v podstate s neobmedzeným počtom cyklov. Čím bude väčšia merná tepelná kapacita materiálu a jeho objemová hmotnosť, tým väčšie množstvo tepla bude možné naakumulovať v danom objeme.

Teplo, ktoré sa spotrebováva alebo uvoľňuje pri zmene skupenstva látky, sa nazýva skupenské, čiže latentné teplo. Pri fázovej zmene pevná látka – kvapalina je možné naakumulovať značné množstvo tepla, ak sa podarí nájsť materiál, ktorého fázová zmena prebieha vo vhodnom teplotnom rozsahu. Pri zmene skupenstva medzi pevnou látkou a kvapalinou dochádza k objemovým zmenám, ktoré však zvyčajne bývajú do 10 %. Skupenské (latentné) teplo, ktoré je akumulované počas procesu topenia materiálu, je možné vypočítať zo zmeny entalpie medzi pevným a kvapalným skupenstvom. Fázová zmena pevná látka – plyn, alebo kvapalná látka – plyn sa vyznačuje oveľa väčším skupenským teplom, avšak takýto tepelne akumulačný systém by vyžadoval pomerne zložité zapuzdrenie akumulačného média z dôvodu veľkých objemových zmien. Vo väčšine prípadov je pri praktických aplikáciách uvažované s akumuláciou pri zmene skupenstva z pevného do kvapalného stavu. Akumulačné médium, pri ktorom je uvažované so zmenou skupenstva pevná látka – kvapalina, musí byť zapuzdrené v obale, ktorý zabráni úniku média zo systému po prechode do kvapalného stavu. Z dôvodu eliminácie nutnosti zapuzdrenia akumulačnej látky je súčasný výskum zameraný tiež na hľadanie možných akumulátorov pri fázovej

zmeny pevná látka – pevná látka, pri ktorej dochádza k zmene kryštalickej štruktúry média. Akumulácia tepla s využitím zmien skupenstva predstavuje systém s oveľa väčšou hustotou zásobníkov energie vzhľadom na jednotku hmotnosti. Relatívne malé množstvo akumuláčného média je schopné nahradiť veľké množstvo látky najmä tam, kde hmotnosť a pracovná teplota akumulátora tepla sú limitujúcimi faktormi. Závislosť akumulovanej energie od teploty média je znázornená na obr. 11.14. Červená krivka znázorňuje akumuláciu citel'ného tepla, napríklad betónovou konštrukciou. Modrá krivka znázorňuje akumuláciu tepla pri zmene skupenstva. V tomto prípade však ide o idealizovaný stav, v ktorom dochádza k zmene skupenstva pri konštantnej teplote. To je však typické iba pre chemicky čisté látky, ktoré ale nie je možné používať najmä kvôli riziku prechladenia pri vybijaní tepla. Pri posudzovaní vhodnosti akumuláčnych látok sa preto nehovorí o teplote fázovej premeny, ale o teplotnom rozsahu, pri ktorom dochádza k zmene skupenstva (Ostrý, 2012).

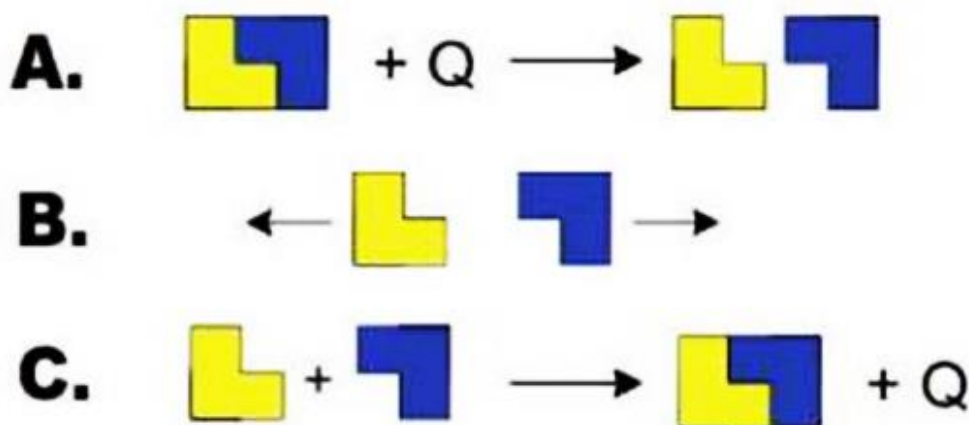


Obr. 11.14 Porovnanie akumulácie citel'ného a latentného tepla (Ostrý, 2012).

Materiály, ktoré majú využitie pre akumuláciu tepla pri zmene skupenstva medzi kryštalickým a kvapalným stavom, sa nazývajú „Phase Change Materials (PCM, presnejšia skratka PCMs)“, materiály s fázovou zmenou alebo materiály so zmenou skupenstva. PCMs vhodné pre použitie na účel akumulácie latentného tepla možno všeobecne rozdeliť do troch skupín (Kuzník, 2011): materiály organického pôvodu, materiály anorganického pôvodu a eutektiká. Medzi najpoužívanejšie materiály organického pôvodu patria parafíny. Komerčné parafíny sú lacné pri strednej tepelnej akumuláčnej kapacite okolo 200 kJ.kg⁻¹, resp. 150 MJ.m⁻³ v širokom spektre rozsahov teplôt topenia (Farid, 2004). Medzi zásadné výhody parafínov patrí kompatibilita s kovovými obalmi, chemická stabilita, nízka objemová zmena pri zmene skupenstva, malé prechladzovanie pri tuhnutí, vysoká životnosť, netoxickosť a recyklovateľnosť. Veľkou nevýhodou je nižšia tepelná vodivosť a horľavosť, ktorú možno ale riešiť pridaním retardérov. Komerčne vyrábané parafíny sú zvyčajne

získavané destiláciou z ropy a obsahujú rôzne uhľovodíky. Anorganické PCMs sú k dispozícii v širokom rozsahu teplôt topenia. V porovnaní s organickými materiálmi majú zvyčajne podobnú mernú entalpiu vzťahnutú na jednotku hmotnosti, ale vyššiu objemovú entalpiu z dôvodu vyššej objemovej hmotnosti. Medzi ďalšie výhody patrí spravidla nižšia cena v porovnaní s materiálmi organického pôvodu, vyššia tepelná vodivosť pri porovnaní s organickými materiálmi objemovej zmeny pri zmene skupenstva do 10 % a nehorľavosť. K nevýhodám PCMs anorganického pôvodu patrí nekongruentnosť topenia a tým nedokonalá reverzibilita zmeny skupenstva, veľké riziko prechlazovania, prechlazovanie pri tuhnutí, nutnosť prídania aditív proti sadaniu a korozívne účinky na kovy (Ostrý, 2012).

Chemické látky dokážu absorbovať alebo uvoľniť veľké množstvo tepelnej energie počas chemickej reakcie, keď vznikajú, resp. zanikajú chemické väzby (obr. 11.15). Na akumuláciu tepla vo forme chemickej reakcie je nevyhnutné využívať látky, ktoré majú dokonalú chemickú reverzibilitu, t. j. schopnosť vrátiť do pôvodného stavu, dostatočné reakčné teplo a zároveň jednoduchú chemickú reakciu. Najväčšou výhodou tejto metódy je schopnosť akumulovať veľké množstvo tepelnej energie v relatívne malom objeme látky. Ďalším významným benefitom je takmer nulová tepelná strata vo fáze, keď je tepelná energia viazaná v chemickej väzbe, môže sa teda akumulovať dlhodobo. Akumulácia tepla vo forme chemickej reakcie sa doposiaľ široko nevyužíva vzhľadom na komplikovaný proces chemickej reakcie a dlhodobú stabilitu chemických látok (Asb, 2019).



Obr. 11.15 Priebeh akumulácie vo forme chemickej reakcie (Asb, 2019).

Tepelná energia kumulovaná v horninách litosféry Zeme pochádza z vnútorných a zároveň vonkajších zdrojov. Medzi vnútorné zdroje patrí hlavne teplo z vnútra Zeme uvoľnené pri rádioaktívnom rozpade prvkov (^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th , ^{40}K), pri tektonických a vulkanických aktivitách, počiatočné teplo Zeme z obdobia jej vzniku, pri gravitačnej diferenciácii, pri exotermických reakciách a podobne. Za hlavný vonkajší zdroj tepla v horninách zemskej kôry sa považuje energia slnečného žiarenia.

Za základné riadiace parametre zásobníkov je možné považovať hydraulické a tepelné vlastnosti horninového prostredia, ktoré majú značný vplyv na výsledné termohydraulické

procesy prebiehajúce v zásobníku. Medzi hydraulické vlastnosti patrí pórovitosť a priepustnosť. Pórovitosť horninového prostredia je funkciou veľkosti, tvaru a usporiadania minerálnych zŕn. Je definovaná ako podiel objemu dutín v hornine a objemu celej horniny. Priepustnosť je miera schopnosti horniny prepúšťať tekutiny v závislosti od hydraulického gradientu. Za zásadnú tepelnú charakteristiku horninového prostredia je možné považovať tepelnú vodivosť, čiže schopnosť horniny viesť teplo. Druhou základnou tepelnou vlastnosťou je tepelná kapacita, charakterizujúca schopnosť horniny akumulovať tepelnú energiu. Kvantitatívne charakteristiky jednotlivých tepelných vlastností horninového prostredia sa označujú ako tepelné parametre (Balážik, 2012).

11.6.1. Druhy systémov

UTES (Underground Thermal Energy Storage) systémy sú moderné geoenergetické systémy založené na princípe systémov zemných tepelných čerpadiel. Pracujú tzv. akumulárnym spôsobom, umožňujúcim sezónne uskladnenie termálnej energie. Horninové prostredie premieňajú na zásobník tepla pomocou sústavy vrtov, usporiadaných v pravidelných rozstupoch v malej vzdialenosti od seba. Kľudovú teplotu reprezentuje miestna priemerná teplota zásobníka vysoko prevyšujúca teplotu okolitého geologického prostredia. Zdrojom energie pre systém už teda nie je len nízkopotenciálna energia nenarušeného horninového masívu, ale zároveň aj tepelná energia vo veľkom množstve umelo uložená do zásobníka. Pôvod uskladnenej energie je napríklad zo solárnych panelov, nevyužitie odpadové teplo a podobne. Uložená energia môže byť potom medzi sezónne použitá na priame vykurovanie alebo chladenie objektu. *UTES* systémy teda slúžia na sezónne uskladnenie veľkých množstiev termálnej energie a z hľadiska využívania prírodného horninového prostredia sú známe dva druhy: *BTES* a *ATES* systémy. Hlavným rozdielom medzi týmito dvoma zásobníkmi je odlišný dizajn, spôsob akumulácie a transferu tepelnej energie. Z hľadiska operačných teplôt môžu byť tieto dva druhy zásobníkov ďalej rozdelené na nízkoteplotné, kde prevádzková teplota je v intervale $5 \div 35 \text{ }^\circ\text{C}$, s využitím tepelných čerpadiel a zásobníky vysokoteplotné s operačnou teplotou $30 \div 70 \text{ }^\circ\text{C}$ bez nutnosti použitia tepelných čerpadiel.

V prípade *ATES (Aquifer Thermal Energy Storage)* systémov, objemová tepelná kapacita horninového prostredia, ale hlavne mimoriadne vysoká tepelná kapacita vody je využívaná na uskladnenie tepelnej energie. História *ATES* sa píše od roku 1965, keď v Číne nadmerné čerpanie podzemnej vody potrebnej na priemyselné chladenie spôsobilo pokles reliéfu krajiny. Náprava tohto stavu spočívala v napustení studenej povrchovej vody do hydrologického kolektora. Následným monitorovaním sa zistilo, že injektovaná voda si zachováva svoju studenú teplotu po dlhú dobu, čím sa stala dokonalým zdrojom pre chladenie objektu. Pri dizajne je dôležité dbať na zostrojenie jednotlivých skupín vrtov v tzv. kritickej vzdialenosti, aby zóna vody s nižšou a zóna vody s vyššou teplotou zostali od seba oddelené a nedošlo k nechcenému termálnemu vzostupu v priebehu jednej sezóny. Z hľadiska geológie sú pre *ATES* zariadenia ideálne kolektory zložené zo sedimentov (piesky, štrky) alebo hornín s vysokou pórovitosťou (vápence, pieskovce). Ďalšími požiadavkami sú relatívne vysoká hydraulická konduktivita a pomerne

nízka rýchlosť prúdenia vody v kolektore. Z hydrogeochemického aspektu sú pre ATES zásobníky vhodné kolektory s nízkym obsahom rozpustených prvkov vo vode.

V prípade *BTES (Borehole Thermal Energy Storage)* systému, cirkulujúca kvapalina nie je fyzicky vymieňaná s horninou a objemová tepelná kapacita horninového prostredia je využívaná na uskladnenie tepelnej energie. Zariadenie pozostáva zo sústavy niekoľkých vertikálnych zemných výmenníkov tepla zapustených vo vrtoch, vo vnútri ktorých cirkuluje teplonosná kvapalina. Na povrchu je zásobník izolovaný od vonkajšieho prostredia, okraje a spodná časť izolované nie sú. Hĺbka vrtu býva $30 \div 200$ m. Tento systém nie je obmedzený horninou, ktorá obsahuje vodu a môže byť použitý na viacerých miestach. V letných mesiacoch systém funguje ako chladenie a energiu akumuluje pomocou solárnych panelov, odpadového tepla. V chladnejších mesiacoch systém vypúšťa toto teplo a nahrádza vykurovanie (Large.Stanford, 2019; Jandačka, 2019).

11.7. Hydráty zemného plynu

Prvá štúdia zaoberajúca sa hydrátmi metánu bola napísaná v roku 1778, avšak prvá práca, ktorá opísala chemické zloženie hydrátov, bola práca od Sira Humphrey Davyho. Pri jednom z jeho pokusov v laboratóriu dokázal vytvoriť kryštalickú vodnú mriežku hydrátu pri ochladzovaní zmesi vody s metánom. Vtedy to považoval za obyčajnú laboratórnu kuriozitu, ktorá nemá žiadne praktické využitie.

V 30. rokoch 20. storočia sa stali hydráty metánu problémom pri doprave zemného plynu plynovodmi v chladných oblastiach. V potrubí panovali podmienky vhodné na tvorbu hydrátu, čo bolo veľmi nežiaduce. Tvoriac sa kryštály sa začali zhlukovať a mohli zapríčiniť poškodenie potrubia, ventilov alebo iného vybavenia. Výsledkom mohlo byť zníženie prietoku plynu potrubím, ale aj úplné prerušenie plynovodu. Tvorba kryštálov hydrátov metánu v potrubíach je problémom aj dnes, avšak sa už vie, ako tomuto problému čeliť. V prípade vytvorenia kryštálov je nutné znížiť tlak v potrubí alebo potrubia zahriať. Aj tak je proces disociácie hydrátov veľmi pomalý, a preto je najlepšou obranou v tomto prípade prevencia. Jedným z riešení je zavedenie glykolu do potrubia, čo zníži počiatočnú teplotu tvorby hydrátov. Ďalšími možnými preventívnymi opatreniami sú dočasná zmena prevádzkových podmienok, zabraňujúce tvorbe hydrátu metánu, pridaním iných chemických látok do potrubia, ktoré buď znížia teplotu tvorby, alebo zvýšia potrebný tlak.

V roku 1964 bol prvýkrát hydrát metánu objavený v prírode. K tomuto objavu došlo vo vtedajšom Sovietskom zväze v sibírskom ťažobnom zariadení pri meste Messoyakha. Neskôr došlo k objaveniu nálezísk hydrátov metánu v oceánskych sedimentoch. A následne prebehlo niekoľko obmedzených priemyselných testov v oblastiach s vysokou koncentráciou hydrátu metánu na pobreží Aljašky a severe Kanady, ktoré však boli vyhodnotené ako finančne nevýhodné.

Prvými expedíciami zaoberajúcimi sa náleziskami v hĺbinách oceánov boli výpravy pod hlavičkou amerického programu pre hlbinné oceánske vrtanie (Deep Sea Drilling program). Pravdepodobne najdôležitejšia bola expedícia OPD Leg 164, ktorá zdokumentovala výskyt rozsiahlych nálezísk, avšak s nízkou koncentráciou hydrátov metánu, v jemnozrnných sedimentoch v oblasti „Blake Ridge“ pri východnom pobreží

Severnej Ameriky. Práve tento objav presvedčil veľkú časť vedeckej komunity, že práve v Hydra metáne je pravdepodobne najväčšie množstvo uloženej energie v podobe zemného plynu na zemi, ktoré bude mať v budúcnosti veľký vplyv na podobu energetiky. Energetické spoločnosti zaoberajúce sa ťažbou ropy a konvenčného zemného plynu posúdili, že náleziská v hĺbinách oceánu s nízkou koncentráciou nie sú ekonomicky výhodné a prejavili iba obmedzený záujem o ďalší prieskum. Zamerali sa na vyriešenie vyššie uvedených problémov so vznikom hydrátov v potrubných systémoch. Následne presunuli pozornosť na to, ako posúdiť a prípadne zmierniť nebezpečenstvo spojené s vrútaním a následnou ťažbou ložísk hydrátu metánu.

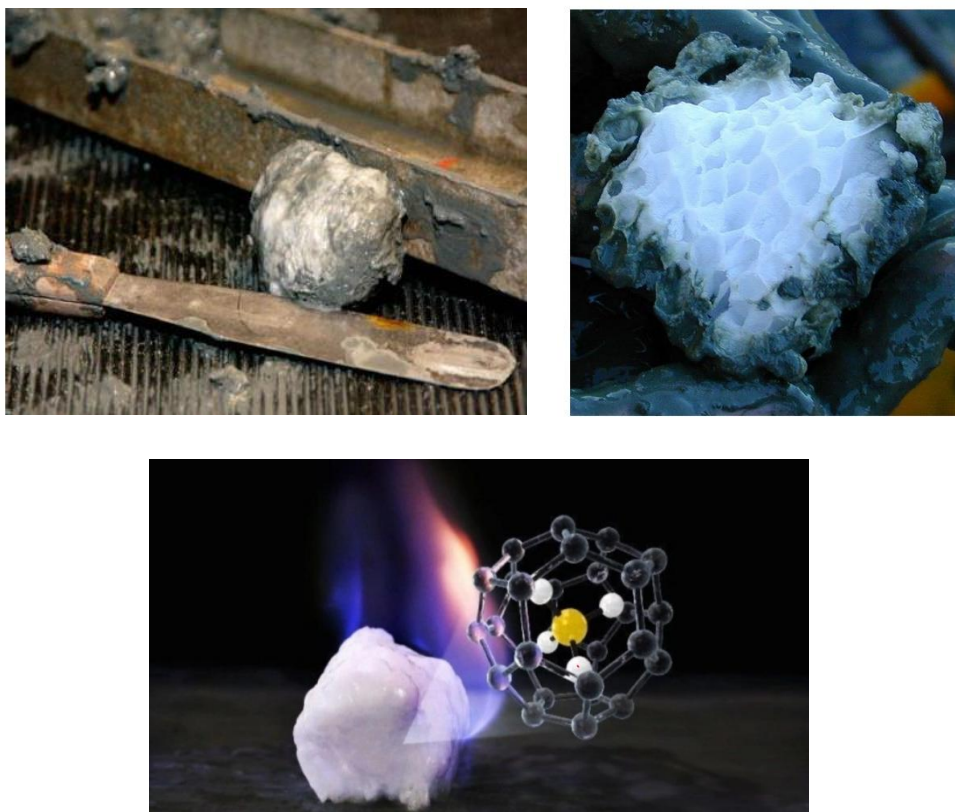
Séria výskumných vrtov po roku 2000 objavila, že plynné hydráty existujú v prírode v širokej škále rôznych foriem. Hoci všetky typy nálezísk v sebe skrývajú energetický potenciál, laboratórne experimenty a numerické simulácie ukazujú, že hydráty metánu uložené v piesočnatých sedimentoch budú pravdepodobne najlepšie použiteľné pre priemyselnú ťažbu (Gao, 2008; Demirbas, 2010).

V blízkej dobe bude možné hydráty zemného plynu považovať za:

- Potenciálnu náhradu existujúcich palív vďaka existencii veľkých zásob, samotný hydrát zemného plynu je však pevnou kryštalickou látkou a na jej ťažbu je nevyhnutné použiť iné techniky ako pri ťažbe klasických zásob plynu.
- Novú formu skladovania a dopravy zemného plynu.

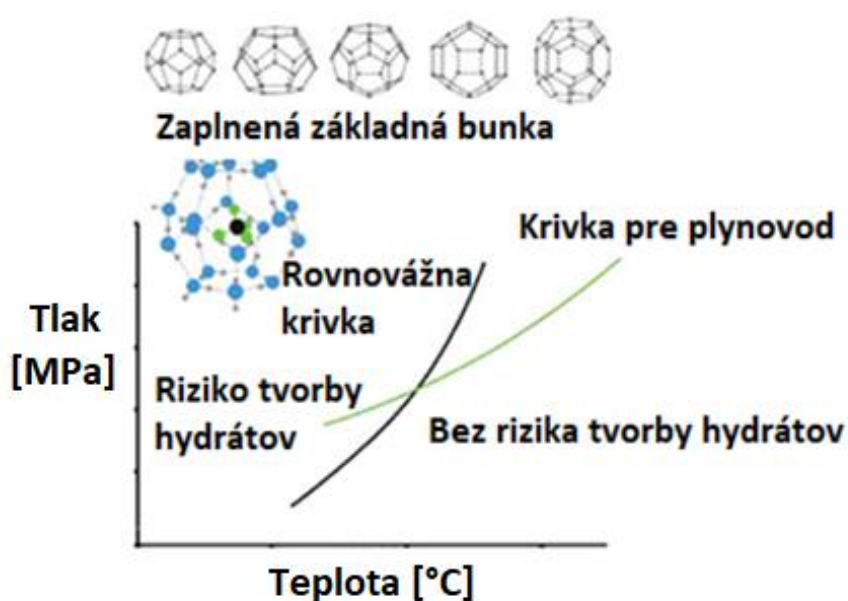
Hydráty zemného plynu patria do skupiny zlúčenín známych pod názvom klatráty (z latinského slova *clatratus*, zamrežovaný). Klatráty sú nestechiometrické, tzn. nemajú presne dané chemické zloženie. Množstvo zachytených molekúl metánu závisí od tvaru kryštalickej mriežky. Metán nie je chemicky viazaný, ale len „uväznený“ v kryštalickej mriežke vody. Známymi klatrátmi sú fullerény (sférické molekuly) usporiadané do päťuholníkov alebo šesťuholníkov, ktoré predstavujú tretiu prvkovú modifikáciu uhlíka, (vedľa diamantu a grafitu) a ktorých základom je molekula C_{60} tvorená 60 atómami uhlíka. Tvar fullerénov je podobný tvaru futbalovej lopty. Do fullerénov je možné dostať cudzí atóm alebo atómy, čím sa zmenia ich vlastnosti.

Hydrát zemného plynu je klatrát tvorený molekulami vody, pričom v dutine je uväznená molekula niektorého z uhlíkovodíkov zemného plynu. Prevláda metán (CH_4), vyskytuje sa tam aj etán (C_2H_6), propán (C_3H_8) a bután (C_4H_{10}). Všeobecne pri hydrátoch je „hostiteľom“ kryštalická mriežka molekúl vody a „hostom“ najčastejšie niektorá z malých molekúl (menších ako 0,6 nm) metánu, oxidu uhličitého, dusíka a niektorých z ďalších uhlíkovodíkových plynov. „Hostia“ sú obklopení molekulami vody, čo im znemožňuje pohybovať sa alebo im to pohyb značne redukuje. Prítomnosť „hostujúcich“ molekúl v dostatočne vysokej koncentrácii v kvapaline alebo plyne obklopujúcich hydrát je kritická vzhľadom na tvorbu a zotrvanie hydrátov (Demirbas, 2010). Na obr. 11.16 je znázornená ukážka hydrátu metánu.



Obr. 11.16 Hydrát metánu (Ruppel, 2012; Talukdar, 2019; Worldoceanreview, 2010).

V plynovodoch je však prítomnosť hydrátov zemného plynu nežiaduca. Hydráty zemného plynu predstavujú v potrubnej sieti riziko a je snahou ich výskyt eliminovať, pretože tvoria prekážky v prúde plynu plynovodom. Preto sa pre prepravu plynu definujú oblasti rizika tvorby hydrátov a oblasti bez rizika tvorby, ako je znázornené na obr. 11.17.



Obr. 11.17 Oblasť tvorby hydrátov v závislosti od tlaku a teploty (Foltin, 2013).

Oblasť nad rovnovážnou krivkou v p-t diagrame a vľavo od nej je oblasť rizika tvorby hydrátov a oblasť pod rovnovážnou krivkou a napravo od nej je oblasť bez tvorby rizika hydrátov (tento rovnovážny diagram sa využíva pri navrhovaní prevádzkových parametrov a prevádzky plynárenských prenosových sústav) (Foltin, 2013).

Z hľadiska bilancie prítomnosti uhlíka, výhodným palivom sa javí metán, pri ktorom je zastúpenie uhlíka voči ostatným atómom najmenšie a to v pomere 1 : 4. Metán je ale skleníkový plyn (približne 25-krát silnejším ako CO₂) z čoho vyplýva, že hydráty môžu byť potenciálnym zdrojom veľkého úniku metánu do atmosféry, čo môže mať vplyv na globálnu zmenu klímy (Čičmanec, 2004).

11.7.1. Tvorba hydrátov zemného plynu

Hydráty zemného plynu tvoria látku podobnú ľadu vody, obsahujúcu značné množstvo metánu viazaného vo forme klatrátov – v dutinách kryštalickej mriežky. Ide o pevné zlúčeniny podobné ľadu, ktorých existencia na Zemi je známa od 50. rokov 20. storočia. Meter kubický pevného hydrátu obsahuje v priemere asi 164 m³ metánu v plynnej forme. Hustota hydrátu kolíše okolo 900 kg.m⁻³, pričom pri izbovej teplote a tlaku je nestabilný. Ich vznik je možné čiastočne pripísať aj termálnemu rozkladu organickej hmoty, najčastejšie ropy (Depowski, 1998).

Stabilita hydrátov zemného plynu sa týka najmä štruktúry týchto látok a vzájomných interakcií, ktoré v nich prebiehajú v určitých fyzikálnych podmienkach.

Podmienky vzniku hydrátov charakterizujú:

- Prítomnosť a koncentrácia vody (nevyhnutné pre tvorbu mriežky hydrátu, využíva sa vhodnosť geometrie molekuly vody a existencie vodíkových väzieb na tvorbu mriežky).
- Prítomnosť, charakter a koncentrácia host'ujúcich molekúl.
- Teplota a tlak prostredia, v ktorom sa hydráty vyskytujú (Foltin, 2013).

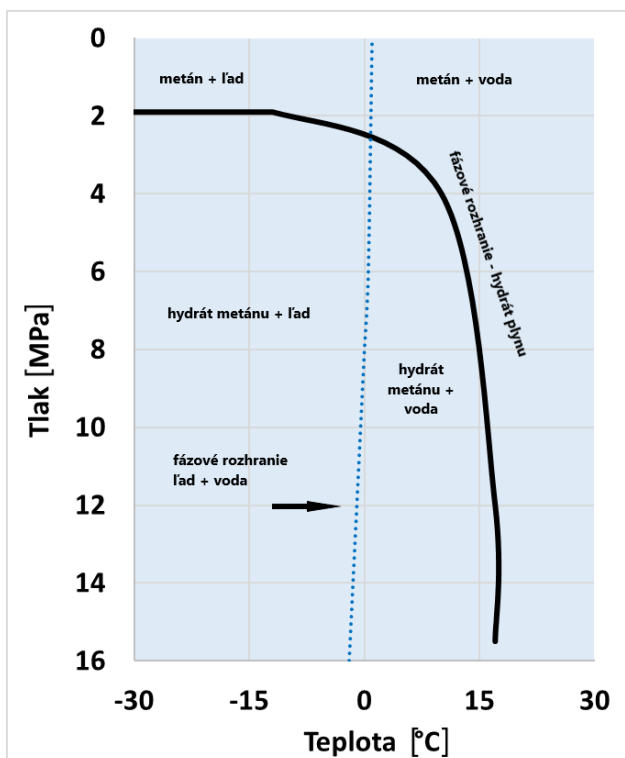
Hydráty zemného plynu sú pevné kryštalické látky, ktoré vznikajú pri kontakte kvapalnej vody s malými hygroskopickými molekulami plynu, ako napríklad metán, etán, sulfán alebo oxid uhličitý za špecifického tlaku a teploty (Kvenvolden, 1993).

Vlastnosti hydrátov:

- 1 m³ vody môže viazať 207 m³ metánu vo forme 1,26 m³ pevného hydrátu, zatiaľ čo bez plynu tvorí 1 m³ vody zamrznutím 1,09 m³ ľadu.
- Jednotkový objem hydrátu metánu pri tlaku 2,6 MPa a teplote 0 °C obsahuje 164 jednotiek plynu.
- V hydrátoch je 80 % objemu zaplnených vodou a 20 % plynom (Makogon, 2010).

11.7.2. Výskyt hydrátov zemného plynu

Hydráty sa tvoria v prostredí pri vysokom tlaku a nízkej teplote za prítomnosti dostatočného množstva vody a plynu. Na obr. 11.18 je znázornený fázový diagram tvorby hydrátu metánu.

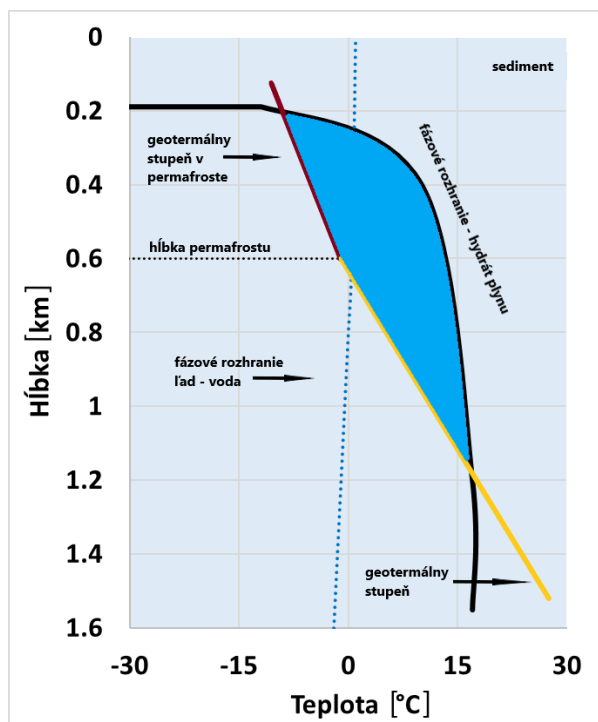


Obr. 11.18 Fázový diagram formovania hydrátu metánu (Harrison, 2010).

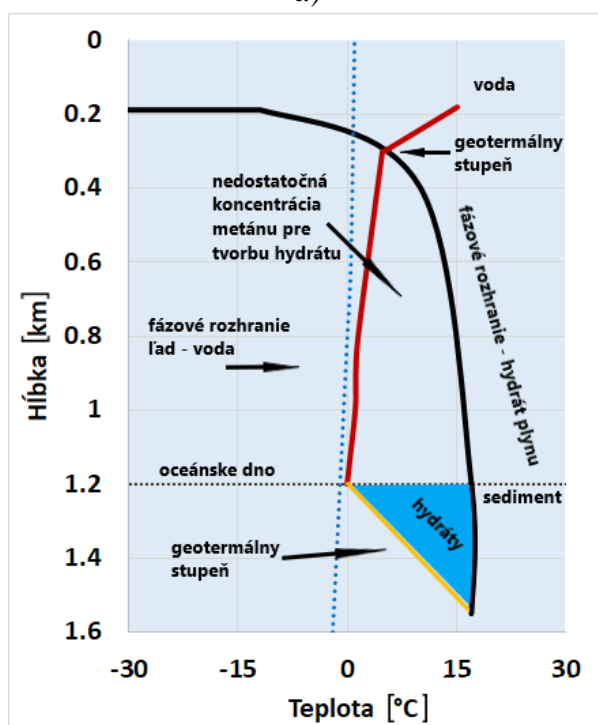
Výskyt tvorby hydrátov je obmedzený na dva typy geologických lokalít:

- V permafroste v polárnych kontinentálnych šelfoch.
- V sedimentoch pod morským dnom, kde prevládajú vysoké tlaky.

Na obr. 11.19 je znázornená stabilná zóna hydrátu metánu pre oblasť permafrostu a oceánskeho dna. Modré oblasti znázorňujú regióny permafrostu a oceánskych sedimentov, kde sa za tlakových a teplotných podmienok a koncentrácie metánu nachádza hydrátotvorná forma a stabilná zóna. Tieto krivky sú založené na tlaku a teplote fázy rovnovážnych stavov zodpovedajúcich reflexií seizmických údajov zozbieraných v týchto prostrediach. Pôvod metánu je sústredený v prirodzene sa vyskytujúcich hydrátoch a to mikrobiálne (generované anaeróbnym rozkladom organických látok) alebo termogénne (generovaný termickým rozkladom organickej hmoty). Na odhad rezerv hydrátov metánu sa využíva seizmologický odraz a vrty. Vrty poskytujú priamy dôkaz o hydrátoch, naopak seizmologický odraz (princíp zmeny rýchlosti odrazených seizmických vln pre indikáciu prechodu medzi materiálmi s rôznymi hustotami) sa používa ako nepriama metóda na detekciu ložísk hydrátov v zemskej kôre.



a)



b)

Obr. 11.19 Stabilná zóna hydrátu metánu (modrá oblasť)
a) permafrost; b) oceánske prostredie (Harrison, 2010).

V prípade, keď sa hydráty zahrievajú alebo sa znižuje tlak, stávajú sa nestabilné a rozkladajú sa na vodu a zemný plyn. Na stanovenie presnejšej predikcie objemového pomeru môže byť s použitím 90 % obsadenia v prirodzene sa vyskytujúcich hydrátoch metánu využitá röntgenová difrakcia. Molárny „host“ pomeru vody k 90 % obsadeniu

je 1 : 6,39, čo zodpovedá 155 m³ metánu za normálneho tlaku. Jednou z hlavných výziev využitia hydrátov metánu je ich využitie ako zdroja energie. Za účelom využitia veľkých objemov plynu zachyteného vo vnútri plynových hydrátov, musia byť najprv ložiská hydrátov sprístupnené vrtaním hlbokých vrtov do oceánskych a permafrostových vrstiev. Po navrtaní sa môže realizovať uvoľňovanie metánu tepelnou stimuláciou (zvýšenie miestnej teploty vo vrte spôsobí disociáciu hydrátu), podtlakom (znížením tlaku dochádza k disociácii hydrátu), alebo injektážou inhibítora (ako je napríklad metanol, dochádza k destabilizácii hydrátov). Po disociácii hydrátu, musí byť uvoľnený plyn odčerpaný a akumulovaný v plynojeme (Harrison, 2010).

Odhady množstva plynu uloženého vo forme hydrátov sa odlišujú. Pohybujú sa v rozpätí od 1 x 10¹⁵ m³ po 15 x 10¹⁵ m³. Je možné uvažovať s hypotézou, že pri ťažbe hydrátov sa dokáže získať iba 17 – 20 % energie uchovanej v nich (Makogon, 2010). Na obr. 11.20 je znázornený schematický náčrt lokalít ťažby hydrátov zemného plynu.



Obr. 11.20 Schematický náčrt lokalít ťažby hydrátov zemného plynu a ich porovnanie s ťažbou bridlicového plynu (Jaga group, 2016).

Prirodzene sa vyskytujúce klatráty metánu majú veľký význam v ich potenciáli ako strategická energetická rezerva. Vzťah hydrátov a podmorskej stability svahov môže byť ovplyvnený hlbinnými vrtmi, potrubiami a podmorskými káblami, čo by mohlo viesť k potenciálnemu nebezpečenstvu, keď sa zoberie do úvahy, že metán je silný skleníkový plyn, ktorý sa týmto spôsobom môže ľahko uvoľniť. Tento postup by pravdepodobne zapríčinil globálne zmeny klímy (Institute of Petroleum Engineering, 2016).

Na obr. 11.21 je vidieť hydrát, ktorý vznikol v podmorskom potrubí. Existujú rôzne metódy, ktoré redukujú problémy hydrátov v uhl'ovodíkových potrubíach a technologických zariadeniach.

Medzi praktické metódy patria:

- Pri danom tlaku pracovať pri teplote nad teplotou tvorby hydrátov. To môže byť dosiahnuté napríklad izoláciou alebo ohrevom zariadení.
- Pri stálej teplote pracovať pri tlakoch pod tlakom formovania hydrátu.
- Dehydratácia – t.j. zníženie koncentrácie vody, a tým zamedziť tvorbe hydrátov.
- Inhibícia tvorby hydrátov – použitím chemikálií, ako je metanol a soľ.

- Pridaním nehydrátotvorných látok.
- Pridanie kinetických inhibítorov ako prevencia.
- Prevencia zhlukovania hydrátov pomocou modifikátorov hydrátotvorného rastu alebo povlaku pracovných plôch s hydrofóbnymi látkami.



Obr. 11.21 Veľký kus hydrátu plynu uhľovodíka vytvorený v podmorskom potrubí, Petrobras (Brasil) (Whatischemistry, 2020).

Ďalšou zaujímavosťou okrem ťažby hydrátov je aj ich uskladňovanie a transport metánu, resp. zemného plynu v podobe hydrátov. 1 m³ LNG obsahuje 600 m³ zemného plynu, ale vyžaduje teplotu -162 °C. Na udržanie takejto nízkej teploty je nevyhnutné používanie cenovo nákladnej kryogénnej techniky.

V priemysle môžu hydráty spôsobovať nežiaduce prevádzkové problémy, napríklad upchatie, či poškodenie potrubia. V potrubiach alebo v tlakových nádobách vznikajú za špecifických podmienok, pri nízkej teplote, vysokom tlaku a pri prítomnosti kvapalnej vody v systéme. Hydráty v prípade bioplynu sa tvoria za iných podmienok ako v prípade zemného plynu. To je spôsobené prítomnosťou oxidu uhličitého, ktorý sa v bioplyne (alebo biometáne) vyskytuje v rôznom množstve. Oxid uhličitý vytvára s vodou hydráty za vyšších teplôt a nižších tlakoch, ako je tomu pri zemnom plyne (Hlinčík, 2010; Malcho, 2021).

11.8. Spätné získavanie tepla z technologických procesov

V súčasnej dobe je potrebné dosahovať postupné znižovanie energetickej náročnosti technologických procesov výroby a ich uhlíkovej stopy. Spätné získavanie tepla z technologických aplikácií je jednou s možností, ako je možné tieto ciele naplniť. V priemyselných technológiách dochádza často k masívnym tokom odpadového nízko a strednepotenciálneho tepla. Tento zdroj tepelnej energie je výhodné vo vhodných utilizačných zariadeniach spätné využívať ako druhotné energetické zdroje (DEZ), najvýhodnejšie v tých technológiách, ktoré ho produkujú. Druhotné energetické zdroje vznikajú obecné ako dôsledok spotreby palív a energie v technologických procesoch, v ktorých sa ale nevyužívajú, pretože ich parametre sú pre pôvodnú technológiu nevhodné. Tieto však môžu byť zdrojom energie pre iné zariadenia, v ktorých môžu úplne alebo čiastočne nahradiť palivo alebo energiu. Jednou z ciest ako znižovať náklady na tepelnú energiu, je jej spätné získavanie z odpadového tepla prostredníctvom výmenníkov tepla rôznej konštrukcie, ktorá závisí od danej aplikácie. Technologické procesy, vyznačujúce sa masívnym tokom odpadového tepla potenciálne využiteľného ako DEZ, sú charakteristické pre výrobu ferozliatin v elektrických oblúkových peciach (EOP), keramických izolátorov v plynových komorových a tunelových peciach, pre ohrev farebných kovov v špeciálnych ohrievacích peciach a v rôznych chemických a sušiacich procesoch.

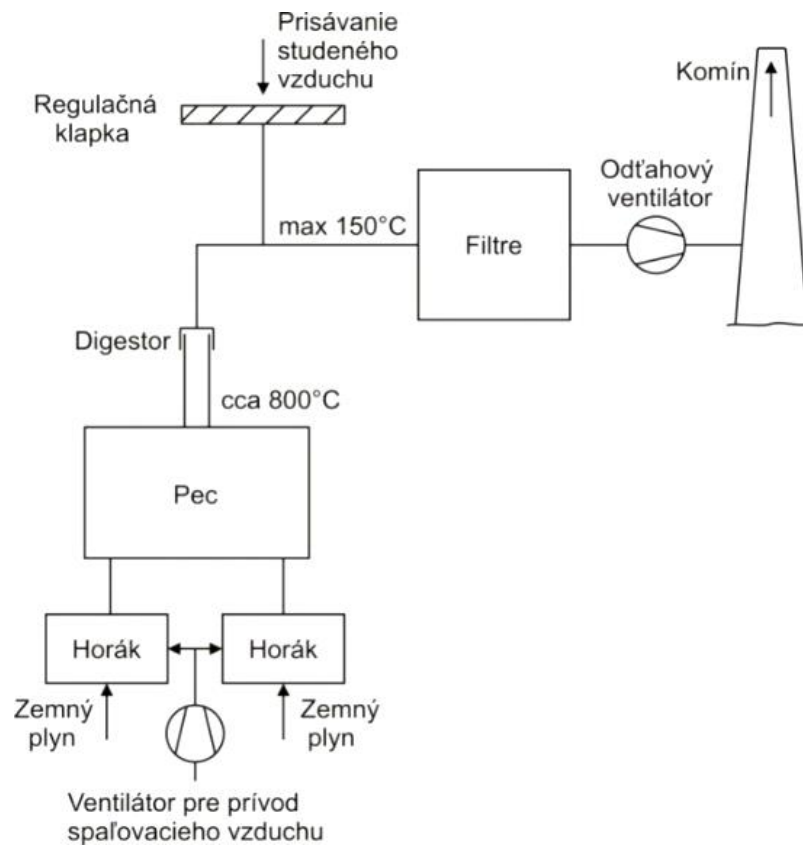
11.9. Využitie strednepotenciálneho tepla spalín z taviaceho agregátu v technológii pretavovania hliníkových odpadov

Systém využitia tepla spalín z technologického procesu tavenia zberového hliníka (z taviaceho agregátu) získava nevyužitú teplo obsiahnuté v spalinách a odovzdáva ho do prírodného vzduchu pre spaľovanie zemného plynu vo vlastnom (rekuperačnom) horáku a tiež do energetického systému závodu na ohrev vody. Súčasne vykonáva chladenie spalín.

11.9.1. Využitie odťahu spalín z taviaceho agregátu

Odvod spalín z taviaceho agregátu s orientačnými hodnotami teplôt za jednotlivými časťami spalinovodu je schematicky znázornený na obr. 11.22. Tepelná energia na tavenie hliníka sa do taviaceho agregátu privádza z horáka zemného plynu, do ktorého je privedený spaľovací vzduch. Tento spaľovací vzduch je nasávaný z priestorov haly pomocou pretlakového ventilátora s prietokom cca $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$. Spaliny z taviaceho agregátu

(obr. 11.23) sú vedené spalínovodom cez digestor ku látkovým filtrom. Teplota spalín pred digestorom je cca 760 °C. Pred látkovými filtrami je realizované prisávanie studeného vzduchu cez regulačnú klapku tak, aby sa zabezpečila požadovaná maximálna teplota spalín pred látkovými filtrami 150 °C. Spaliny sú odtáňované spalínovým ventilátorom za filtrami do komína.



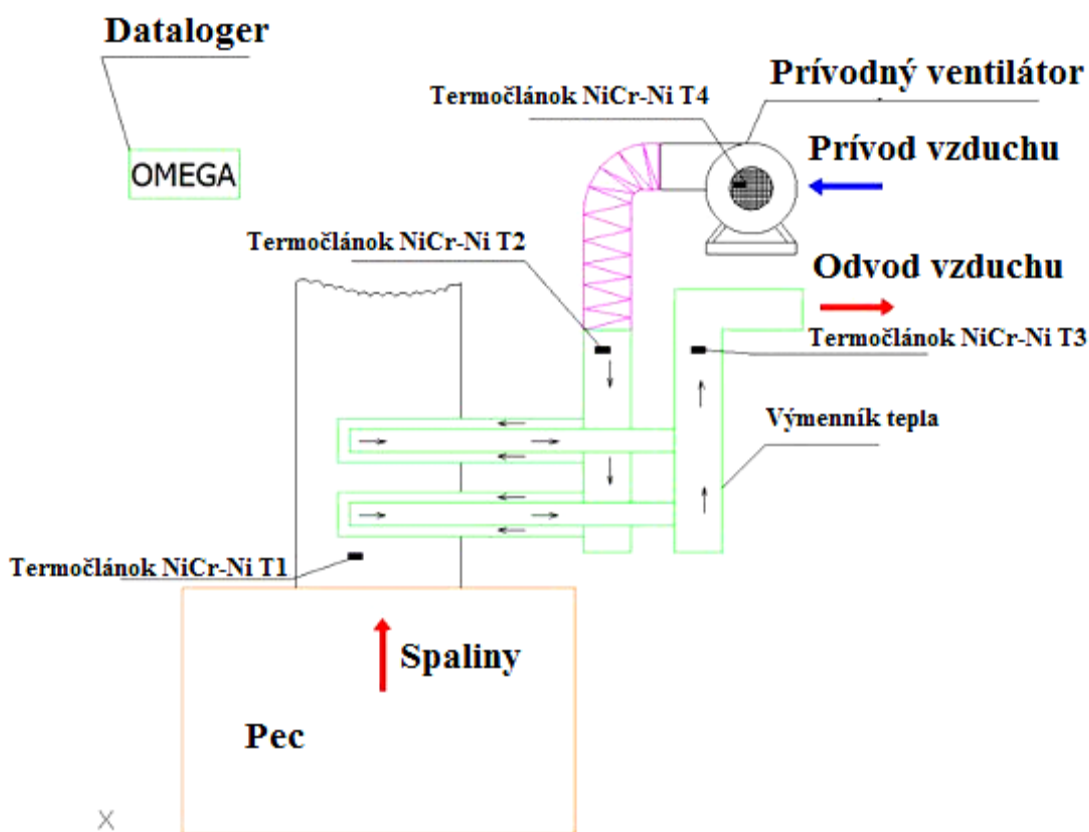
Obr. 11.22 Pôvodné usporiadanie spalínového traktu z taviaceho agregátu (Malcho, 2018).



Obr. 11.23 Situovanie taviaceho agregátu v prevádzke (Malcho, 2018).

11.9.2. Meranie teplotných parametrov spalín a tepelného toku na modelovom výmenníku tepla

Z dôvodu zabezpečenia reálnych vstupov pre výpočet výmenníkov tepla je potrebné realizovať na taviacom agregáte merania teplotných parametrov spalín ako i merania tepelného toku na modelovom výmenníku tepla. Tento výmenník tepla je zároveň možné využiť aj pri meraniach lepidlosti prachu na rúrky v spalinách výmenníka tepla. Modelový výmenník tepla je na báze fieldovských rúrok. Tento výmenník tepla je osadený do spalinového traktu cez revízny otvor. K výmenníku tepla je pripojený radiálny ventilátor na prívod vzduchu, ktorý je nasávaný z haly. Meranie teplôt je možné realizovať termočlánkami NiCr-Ni, umiestnených podľa obr. 11.24. (Teplota (t_1) je teplota spalín za taviacim agregátom, teplota (t_2) je teplota studeného vzduchu na vstupe do modelového výmenníka tepla, teplota (t_3) je teplota ohriateho vzduchu na výstupe do modelového výmenníka tepla a teplota (t_4) je teplota nasávaného vzduchu ventilátorom). Umiestnenie modelu výmenníka tepla v spalinovode taviaceho agregátu je znázornené na obr. 11.25.



Obr. 11.24 Umiestnenie fyzikálneho modelu výmenníka tepla na báze fieldovských rúrok v spalinovode pre potreby merania a rozmiestnenie termočlánkov (Malcho, 2018).

Z dôvodu výpočtu tepelného toku zo strany spalín na stranu vzduchu v modelovom výmenníku tepla je potrebné merať prietokové množstvo nasávaného vzduchu na vstupe

do ventilátora. Toto množstvo vzduchu sa získava na základe merania priemernej rýchlosti vzduchu na vstupe do ventilátora a plochy sacieho hrdla ventilátora.



Obr. 11.25 Umiestnenie modelu výmenníka tepla v spalínovode taviaceho agregátu (Malcho, 2018).

Meranie teplôt prebieha počas troch po sebe idúcich referenčných dní. Teplota spalín (t_1) je závislá od samotného prevádzkového režimu taviacej pece.

(Priemerná teplota spalín sa pohybovala v rozmedzí od 600 °C do 890 °C. Prudké poklesy teploty spalín boli zapríčinené otvorením pecných dverí a vložením studenej vsádzky do taviaceho priestoru pece. V ojedinelých prípadoch sa teplota spalín pohybovala nad hodnotou 900 °C, čo bolo zapríčinené extermickými reakciami nežiaducich prísad v hliníkovom šrote. Teplota studeného vzduchu na vstupe do modelového výmenníka tepla (t_2) je závislá od teploty (t_4) nasávaného vzduchu ventilátorom v danom objekte. Na vzorke výmenníka tepla bola nameraná priemerná teplota ohriateho vzduchu (t_3) na výstupe v rozmedzí teplôt 250 °C až 340 °C. Na základe realizovaného merania sa potvrdil predpoklad, že pri návrhu výmenníka tepla spaliny – voda bude ako teplovýmenný element možné použiť fieldovskú rúrku).

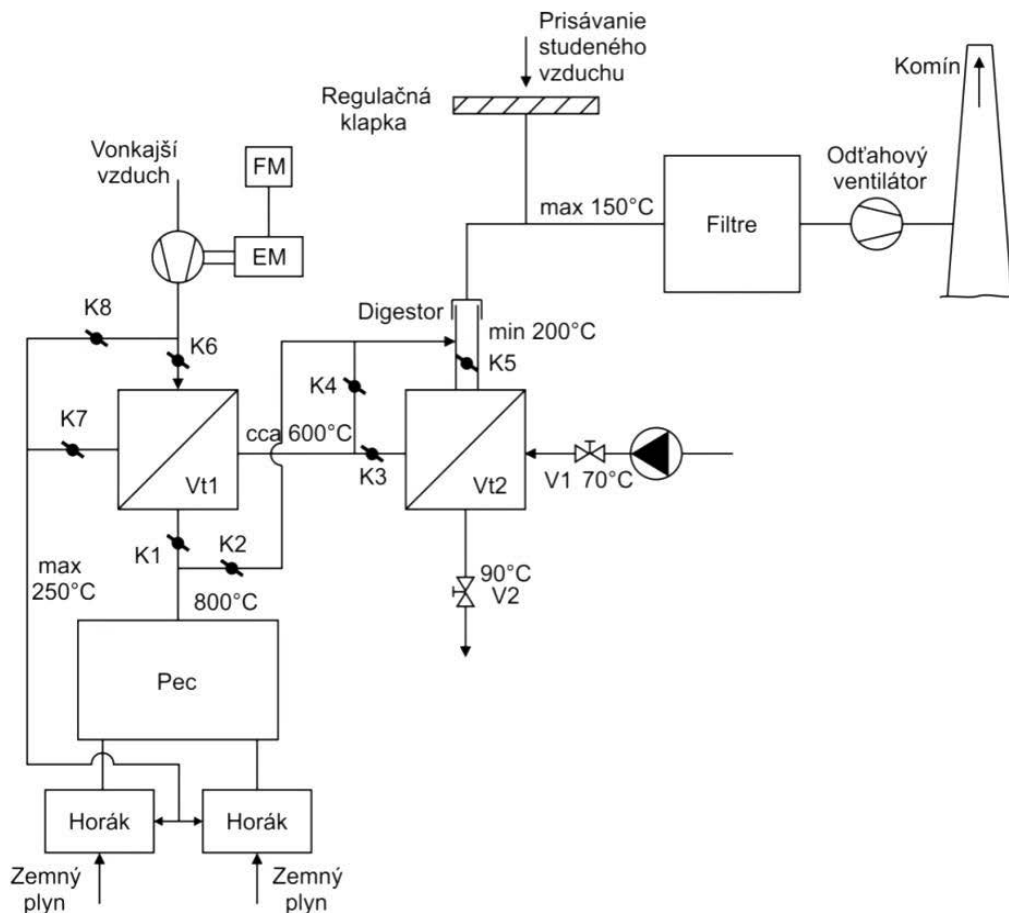
11.9.3. Návrh usporiadania systému spätného získavania tepla z taviaceho agregátu

Na obr. 11.22 je znázornené schematické usporiadanie pôvodného spalínového traktu z taviaceho agregátu a systému ohrevu pece horákom na zemný plyn. Z hľadiska pomerne vysokého teplotného potenciálu spalín cca 760 °C sa ukazuje ako veľmi zaujímavé využitie tohto potenciálu na predohrev spaľovacieho vzduchu pre horáky na zemný plyn,

ako i na ohrev teplej vody (TV). Využitie tohto potenciálu je možné aplikáciou výmenníkov tepla spaliny – vzduch (Vt1) pre predohrev spaľovacieho vzduchu, resp. spaliny – voda na ohrev TV (Vt2).

Návrh usporiadania systému spätného získavania tepla z taviaceho agregátu je znázornené na obr. 11.26. Systém spätného získavania tepla je navrhnutý tak, aby bolo možné v prípade odstavenia systému spätného získavania tepla pracovať v pôvodnom, t. j. súčasnom usporiadaní spalinového traktu.

Výmenník tepla spaliny – vzduch je umiestnený za odvod spalín z pece. Tento výmenník tepla je navrhnutý tak, aby sa dosahoval maximálny ohrev spaľovacieho vzduchu 250 °C. Vzhľadom na požiadavku neprekročenia maximálnej teploty spaľovacieho vzduchu 250 °C je možné túto teplotu regulovať s klapkou K6 a K8, ktorými sa nastavujú pomery vzduchu na ohrev a vzduch, ktorý sa nebude ohrievať. Tieto pomery sa nastaví tak, aby nedošlo k prekročeniu teploty 250 °C. V prípade odstavenia výmenníka tepla Vt1 sa uzavrie klapka K1 a otvorí sa klapka K2 tak, aby spalinový trakt pracoval v pôvodnom stave.



Obr. 11.26 Návrh usporiadania spätného získavania tepla zo spalín taviaceho agregátu (Vt1-výmenník tepla / spaliny – vzduch; Vt2-výmenník tepla / spaliny – voda; V1, V2-uzatváracie armatúry; K1 ... K8-uzatváracie klapky; FM-frekvenčný menič; EM-elektromotor) (Malcho, 2018).

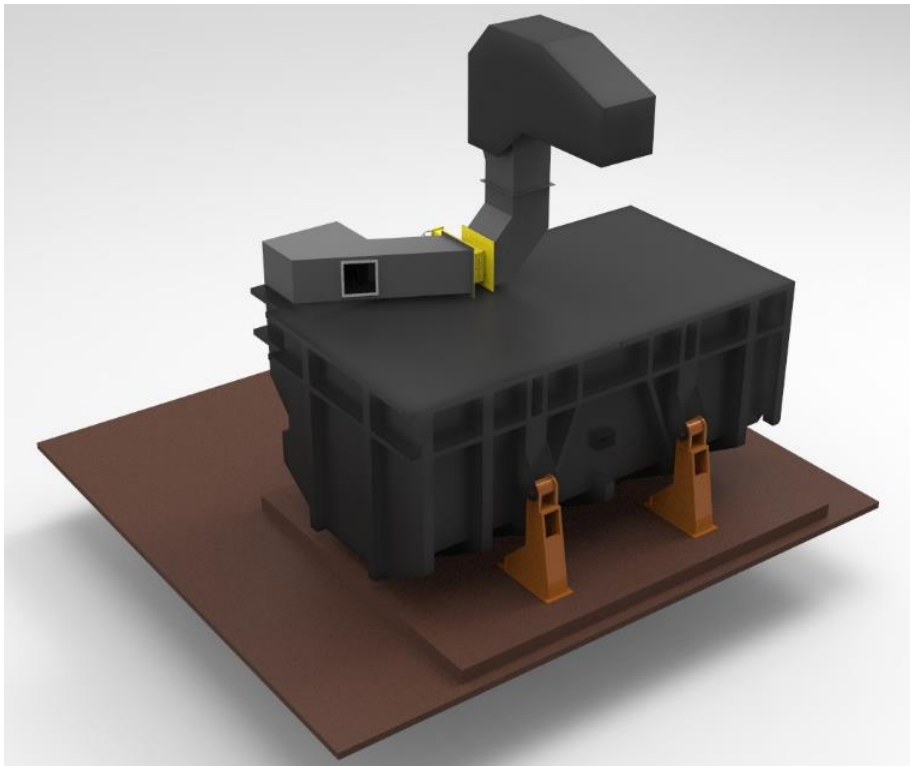
Nakoľko spaliny z výmenníka tepla Vt1 majú ešte pomerne vysoký teplotný potenciál, je možné ho využiť na ohrev TV vo výmenníku spaliny – voda Vt2. Výstupná teplota vody je navrhnutá na teplotu 90 °C. Z toho dôvodu je pred výmenníkom tepla navrhnutý bypas cez klapku K4, ktorou je možné túto teplotu regulovať. V prípade, že by bolo potrebné výmenník tepla Vt2 odstaviť, tak sa uzatvorí klapka K3 a otvorí sa klapka K4.

11.9.4. Konštrukčný návrh rekuperačného zariadenia

Pri konštrukčnom návrhu sa koncepčne vychádzalo zo schémy znázornenej na obr. 11.26.

Taviaci agregát

Tepelným agregátom je taviaca pec (obr. 11.27) vyhrievaná plynovým horákom. Pec je komorového typu. Plnená je dvoma spôsobmi a to mechanicky pomocou vkladania hliníkového odpadu a tuhých prímiesí cez otvárateľné vráta situované z prednej časti pece, alebo cez vylievací otvor umiestnený na boku pece nad hladinou roztaveného kovu. Vylievací otvor plní dvojakú funkciu (vlievanie tekutého kovu do pece z inej pretavovacej pece a vylievanie tekutého kovu do transportných žľabov, ktoré dopravujú kov do ďalšej pece). Pec je otočná okolo osi čapov, pričom počas pracovného cyklu dochádza k jej vychýleniu o 30°. Pec je vybavená plynovým horákom, ktorý usmerňuje plameň nad hladinu taveniny. Spaliny sa odvádzajú komínom do digestora, kde sa následne primiešava studený vzduch s cieľom znížiť ich teplotu, kvôli prevádzkovým filtrom. Základné rozmery a charakteristiky taviaceho agregátu sú uvedené v tabuľke 11.2.



Obr. 11.27 3D model taviaceho agregátu (Malcho, 2018).

Tabuľka 11.2 Tvarová a rozmerová charakteristika taviaceho agregátu (Malcho, 2018).

Parameter	Hodnota
Tvar pôdorysu	obdĺžnik
Statická určitosť	neurčitá, naklápanie o 30°
Dĺžka	6 160 mm
Výška	2 960 mm
Šírka	4 040 mm

Vzhľadom na agresívne prostredie a veľkú lepkavosť spalín nie je možné použiť štandardné komerčne dodávané výmenníky tepla. Preto je potrebné výmenníky tepla navrhnuť s prihliadnutím na tieto špecifické požiadavky:

- Zabezpečiť jednoduché a účinné čistenie teplovýmenných plôch od nánosov spalín.
- Konštrukciu prispôbiť jednoduchšej vymeniteľnosti a to hlavne častí, ktoré prichádzajú do styku so spalinami a majú predpoklad na nižšiu odolnosť voči korózii materiálu.
- Prihliadať na naklápanie pece.
- Rešpektovať dispozičné možnosti samotnej pece a okolitých zariadení a priestorov vo výrobnjej hale.

Na základe informácií uvedených v predchádzajúcich podkapitolách je možné navrhnuť rekuperačné zariadenie pozostávajúce z dvoch základných funkčných častí:

- Systém výmenníkov tepla spaliny – vzduch.
- Systém výmenníkov tepla spaliny – voda.

Teplovýmenné zariadenie spaliny – vzduch

Jeho hlavnou funkciou je zabezpečiť odvod spalín z taviaceho agregátu a následne ich dopraviť do druhého teplovýmenného zariadenia spaliny – voda. Zároveň slúži na predohrev teplého vzduchu, ktorý sa vháňa do horáka, pričom využíva práve teplo zo spalín. Na ohrev slúži systém rúr, ktoré sú opatrené oceľovým plášťom. Ten vytvára okolo rúry spalinovodu priestor, cez ktorý sa pretláča proti prúdu prúdenia spalín studený vzduch, dodávaný z ventilátora. Vzhľadom na nestatickosť pece je nutné do okruhu teplovýmenných rúr vložiť otočný mechanizmus, resp. otočný kĺb. Ten je umiestnený do osi otáčania čapov. Zároveň otočný kĺb rozdeľuje systém výmenníkov tepla na dve časti. Jedna časť je pevne umiestnená na peci a naklápa sa s ňou, pričom druhá je umiestnená na stojanoch, ktoré sú pevne spojené so zemou. V miestach ohybu spalinovodu sú inštalované kolená. Tie slúžia ako inšpekčné, resp. čistiace otvory. V tabuľke 11.3 sú uvedené základné konštrukčné charakteristiky výmenníka.

Tabuľka 11.3 Základné konštrukčné charakteristiky výmenníka (Malcho, 2018).

Parameter	Jednotka	Hodnota
Rúra spalínovodu (súčet dĺžok)	[mm]	Tr. ø406x10-12000
Rúra ohrevu vzduchu (súčet dĺžok)	[mm]	Tr. ø460x4-11000
Pracovná teplota spalín	[°C]	600 °C – 900 °C
Pracovná teplota vzduchu	[°C]	0 °C – 250 °C
Vnútorný objem spalínovodu	[m ³]	1,6
Vnútorný objem ohrievačov vzduchu	[m ³]	0,45
Teplovýmenná plocha spaliny – vzduch	[m ²]	14
Hmotnosť výmenníka	[kg]	3 480
Maximálny statický pretlak ventilátora vzduchu	[Pa]	3 500

Teplovýmenné zariadenie spaliny – voda

Teplovýmenné zariadenie spaliny – voda slúži na ohrev teplej vody. Na obr. 11.28 je znázornený výmenník tepla spaliny – voda, ktorý je umiestnený na podpornej oceľovej konštrukcii. Ide o uzatvorený vodný okruh. Je tvorený zvislou spalínovou komorou, v ktorej sú vodorovne umiestnené fieldovské rúrky, v ktorých prúdi ohrievaná voda. Smer prúdenia spalín je zdola nahor.



Obr. 11.28 Výmenník tepla spaliny – voda s podpornou konštrukciou (Malcho, 2018).

Fieldovské rúrky sú z dôvodu montáže a demontáže rozdelené do segmentov, čo umožňuje v prípade poruchy ich jednoduchú výmenu. Spalinová komora je prístupná z troch strán otvárateľnými dverami, čo umožňuje jednoduché a účinné čistenie. Tok spalín a vody je ovládaný klapkami, posúvačmi a ventilmi, ktoré sú riadené automatickým riadiacim systémom. V prípade potreby je možné ich riadiť aj ručne. V tabuľke 11.4 sú uvedené základné konštrukčné charakteristiky výmenníka tepla.

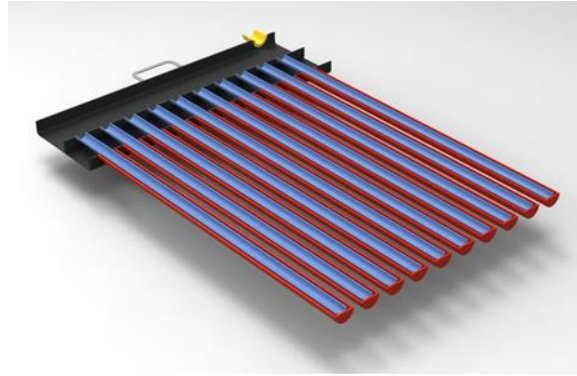
Tabuľka 11.4 Základné konštrukčné charakteristiky výmenníka tepla (Malcho, 2018).

Parameter	Jednotka	Hodnota
Fieldovská rúrka – vonkajší rozmer	[mm]	ø60,3
Počet segmentov	[ks]	28
Počet rúrok v segmente	[mm]	10
Počet rúrok celkovo	[ks]	280
Pracovná teplota spalín	[°C]	max. 600 °C
Pracovná teplota vody	[°C]	90/70
Vnútorový objem priestoru spalín	[m ³]	3,35
Vnútorový objem vodného priestoru	[m ³]	1,04
Teplovýmenná plocha spaliny – voda	[m ²]	52,8
Hmotnosť vlastného výmenníka tepla bez vody	[kg]	5 600
Predpokladaný výkon	[kW]	300

Základnou funkčnou časťou výmenníka tepla je fieldovská rúrka. Je to rúrka v rúrke, z jedného priestoru segmentu vnútornou rúrkou prúdi voda na koniec rúrky, tam sa prúd obracia a voda prúdi nazad prierezom medzikružia do druhého priestoru segmentu. Fieldovské rúrky (obr. 11.29) s funkčnými medzerami pre prúdenie spalín vyplňujú celý prierez spalinovodu. Spaliny prúdia kolmo (priečne) na rúrky. Celý výmenník tepla je naklonený o 3°, z dôvodu odvodu spalin z fieldovských rúr pri napúšťaní systému vodou. Rúrky sú usporiadané do skupín. Segmenty sú navzájom prepojené hadicami tak, že prúdiaca voda od vstupu do výmenníka tepla prúdi paralelne v dvoch vetvách k výstupu z výmenníka tepla.



Obr. 11.29 Segment fieldovských rúrok (Malcho, 2018).



Obr. 11.30 Segment fieldovských rúrok – pozdĺžny rez (Malcho, 2018).

Segmenty sú upevnené skrutkami v ráme, ktorý s tromi otvárateľnými stenami tvorí 4- hranný spalinovod. Štvrtú stenu tvoria segmenty montované nad sebou. Z dôvodov tesnosti a tiež pre ochranu prepojovacích hadíc segmentov sú segmenty zakryté odnímateľným krytom. Medzery medzi segmentami sú tesnené tmelom, alebo iným vhodným mäkkým tesnením. Ak by predsa medzi segmentmi boli netesnosti, priestor pod krytom je odsávaný do komína rúrkou, ktorá prúdením spalín vytvára pod krytom podtlak, aby spaliny neprenikali spod krytu do ovzdušia. Na obr. 11.30 je znázornený pozdĺžny rez segmentu rúrok, kde je možné vidieť vnútorné usporiadanie komôr pre prívodné a vratné teplovýmenné médium.

11.10. Meranie a vyhodnotenie výkonových parametrov systému na spätné získavanie tepla zo spalín pece na tavenie sekundárneho hliníka

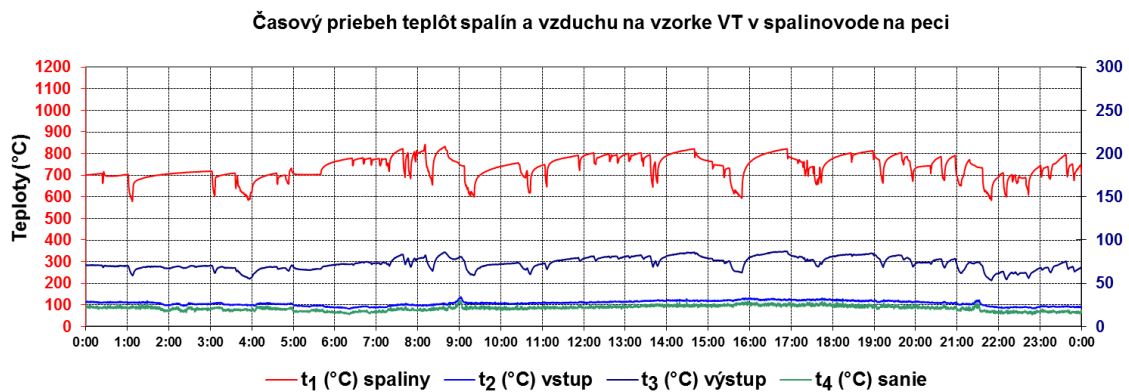
Merané veličiny

Pre posúdenie tepelných ziskov na zariadení pre spätné získavanie tepla zo spalín pece na tavenie sekundárneho hliníka sa po jeho uvedení do prevádzky vykonáva dlhodobé meranie teplotných parametrov teplotných médií. Merania teplotných priebehov hlavne tých veličín, pomocou ktorých sa určujú tepelné výkony výmenníkov tepla spaliny – vzduch a spaliny – voda. Na obr. 11.31 je znázornené rekuperačné zariadenie v prevádzke.

Z nameraných záznamov je možné konštatovať, že tvar jednotlivých priebehov teplôt je ovplyvnený reguláciou teplôt zariadenia. Pri stúpnutí výstupnej teploty vody do ústredného kúrenia (ÚK) nad požadovanú teplotu (napríklad na 75 °C, resp. 90 °C) sa otvára regulačná klapka pred VT spaliny – voda 1AK4 a spaliny sú odvádzané do komína mimo VT spaliny – voda. Ak sa porovná priebeh teplôt meraných na výstupe z pece pred úpravou (obr. 11.32) s priebehom teplôt spalín za VT spaliny – vzduch, je možné konštatovať, že teploty spalín za VT kolíšu výraznejšie ako kolísali teploty na výstupe z neupravenej pece.

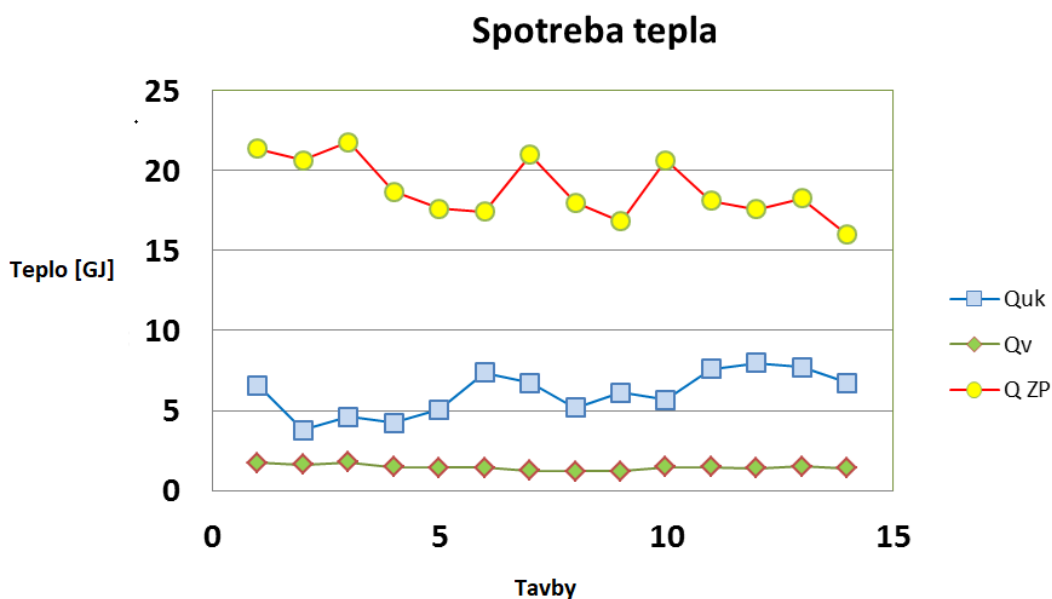


Obr. 11.31 Situovanie navrhnutého rekuperačného zariadenia v prevádzke (Malcho 2018).



Obr. 11.32 Priebeh teploty spalín a vzduchu na testovacom VT pri kvantifikácii potenciálu spalín taviacej pece (Malcho, 2018).

Je to zrejme i z priebehu teploty ohriateho vzduchu pred zmiešaním so studeným vzduchom za VT spaliny – vzduch. Tu sa prejavuje aj akumuláčn schopnosť tohto VT, ktor sa prejavuje na vyrovná skokovitho priebehu teplôt spalín a ich čiastočného dohrevu pri zníženom výkone horáka.



Obr. 11.33 Spotreba tepla a tepelné zisky do spaľovacieho vzduchu a do vody ÚK pri jednotlivých tavbách (Malcho, 2018).

Z nameraných a vypočítaných hodnôt je možné konštatovať, že tepelný výkon ohrevu spaľovacieho vzduchu závisí od chodu horáka (obr. 11.33). Vzhľadom na vysoký výkon horáka je ohrev pecnej atmosféry veľmi rýchly a horák po krátkej dobe horenia, hlavne po ohreve vsádzky, prechádza na minimálny výkon. Podobne pracuje aj výmenník tepla spaliny – voda, ktorého výkon je limitovaný schopnosťou absorbovať získaný tepelný výkon vykurovacím systémom. Z priebehu vypočítaného okamžitého tepelného výkonu na ohrev vody ÚK je možné konštatovať, že má značne premenlivý charakter od cca 60 kW až po cca 250 kW. Jeho výkon závisí od teploty spalín za VT spaliny – vzduch a od ich prietoku VT spaliny – voda. Prietok spalín výmenníkom tepla je regulovaný na základe výstupnej teploty vody z VT a tá je silne závislá od teploty spiatocky vo vykurovacom systéme.

11.11. Využitie vysokopotenciálneho tepla spalín z taviaceho agregátu v technológií výroby ferozliatin

Keramický a metalurgický priemysel sú typickými príkladmi vzniku vysokopotenciálneho odpadového tepla. Aplikácie z takýchto zdrojov sú veľmi výhodné a majú krátku dobu návratnosti vstupných investícií. Jedným z nich je aj hutnícky závod ferozliatin. Závod vyrába ferozliatinu v elektrických oblúkových peciach, čo je vysoko energeticky náročné. Ferozliatinárska pec pracuje nad kychťou a jej projektovaný elektrický výkon je 12,5 MWe. Teplota na plášti pece je približne 400 °C a v prípade technologických porúch stúpa až na hodnotu 900 – 1 000 °C. Odpadové spaliny majú teplotu v rozmedzí 250 – 600 °C.

Na obr. 11.34 je znázornená pôvodná konštrukcia klobúka pece pri výrobe ferozliatin. Masívne toky odpadového tepla sú prenášané radiačným alebo konvektívnym spôsobom prenosu tepla. Samotná výroba ferosilícia prináša okrem veľkého množstva odpadového tepla aj vedľajšie produkty v podobe kremičitých úletov. Úlety sú veľmi malé častice,

ktoré majú pravidelný guľovitý tvar a hladký povrch. Vznikajú kondenzáciou pár oxidu kremičitého a následne vychádzajú z elektrického oblúka elektrických oblúčkových pecí.

Prítomnosť kremičitých úletov má negatívny vplyv na steny v potrubí a na výmenníky tepla. Je to spôsobené výraznou schopnosťou usadzovania sa a výbornými tepelnoizolačnými vlastnosťami kremičitých úletov. Na základe experimentálnych meraní bol navrhnutý nový typ klobúka elektrickej oblúčkovej pece.



Obr. 11.34 Pôvodná konštrukcia klobúka pece pri výrobe ferozliatin (Malcho, 2018).

11.11.1. Funkcia zariadenia

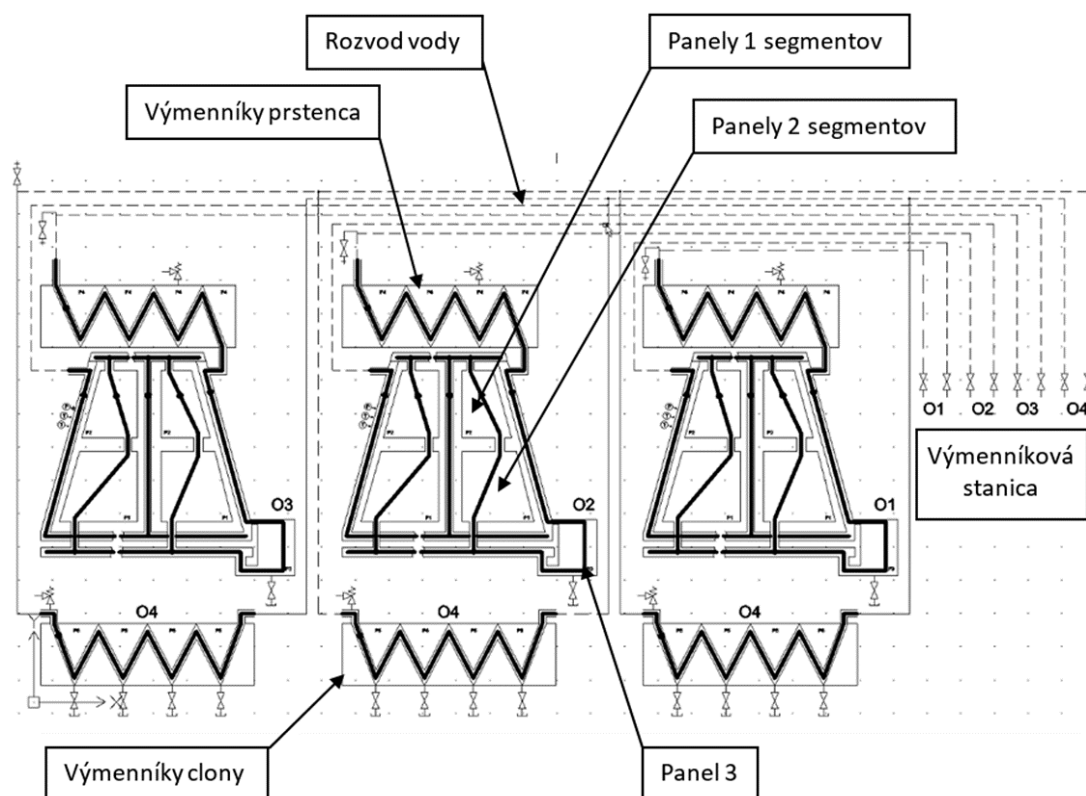
Elektrický oblúk na elektródach a následne roztavená vsádzka v peci sú zdrojom horúcich spalín a vyžarovaného tepla, ktoré v technológii výroby ferozliatin v oblúčkovej peci sú sprievodným javom a nie sú využité.

Úlohou chladeného klobúka pece je:

- Odobrať časť energie z procesu (tepelný príkon pece je cca 18 MW) a odovzdať ju prostredníctvom zariadenia podľa tohto projektu do energetického systému závodu.
- Zníženie teploty odťahovaných spalín.
- Zlepšenie pracovného prostredia (zníženie teploty) v okolí pece.

Panely chladičov sú zapojené do štyroch autonómnych chladiacich okruhov, na prstenci, na segmentoch klobúka, na paneloch 3 i na clonách. Každá skupina panelov umiestnená v rúrkovom ráme tvorí systém odovzdávania tepla, pričom panely a rúrkový rám prijímajú vyžiarené teplo z pece a prostredníctvom teplej vody ho odvádzajú potrubiami do výmenníkovej stanice, kde ho využívajú do formy vhodnej pre teplovodné okruhy energetického systému závodu.

Princíp odovzdávania tepla v klobúku – Teplá voda teploty 80 °C sa privádza teplovodnými potrubiami hnaná čerpadlom z výmenníkovej stanice. Po zohriatí na 105 °C sa vracia do výmenníkovej stanice. Okruhy O1, O2, O3 znázornené na obr. 11.35 sú zhodné.



Obr. 11.35 Schematické znázornenie spôsobu cirkulácie vody v segmentoch klobúka (Malcho, 2018).

Voda z rozvodu vody vstupuje do rúrkového rámu jedného zo segmentov prstenca. Ten vo svojej hornej časti rozvádza vodu do jednotlivých výmenníkov prstenca a v dolnej časti súčasne vodu z výmenníkov zberá.

Po prechode prstencom prechádza voda cez krajnú rúru rámu segmentu pece až dole do chladiaceho panelu 3 umiestneného na podlahe vedľa pece. Voda sa po prechode panelom 3 vracia do rúrkového segmentu klobúka, ktorého najnižšia rúra rozdeľuje prúd do šiestich vetví – do panelov 1 a 2. Cez panely 1 a 2 prúdi zdola nahor, do zbernej rúry rúrkového segmentu, kde sa spája a prúdi ďalej zhora nadol cez rúry rúrkového rámu, spája sa a druhou krajnou rúrou rúrkového rámu segmentu klobúka sa zdola nahor odvádza do rozvodu vody a ďalej do výmenníkovej stanice.

Rúrkový rám segmentu klobúka okrem rozvodu vody do jednotlivých panelov má taktiež svoju teplovýmennú plochu a má tiež funkciu výmenníka tepla. Okruh O4 tvoria rúrkové rámy a výmenníky clôn. Clony sú tri, v okruhu sú zapojené paralelne. Voda z rozvodu vody schádza pevnými rúrami nadol, tu sa ohybnými hadicami pripája k clonám do rúrkového rámu. Rúrkový rám clony rozvádza vodu do jednotlivých výmenníkov clony a tiež ju zberá a odvádza. Voda po prechode clonou vystupuje nahor do rozvodu vody.

11.11.2. Popis zariadenia klobúka pece

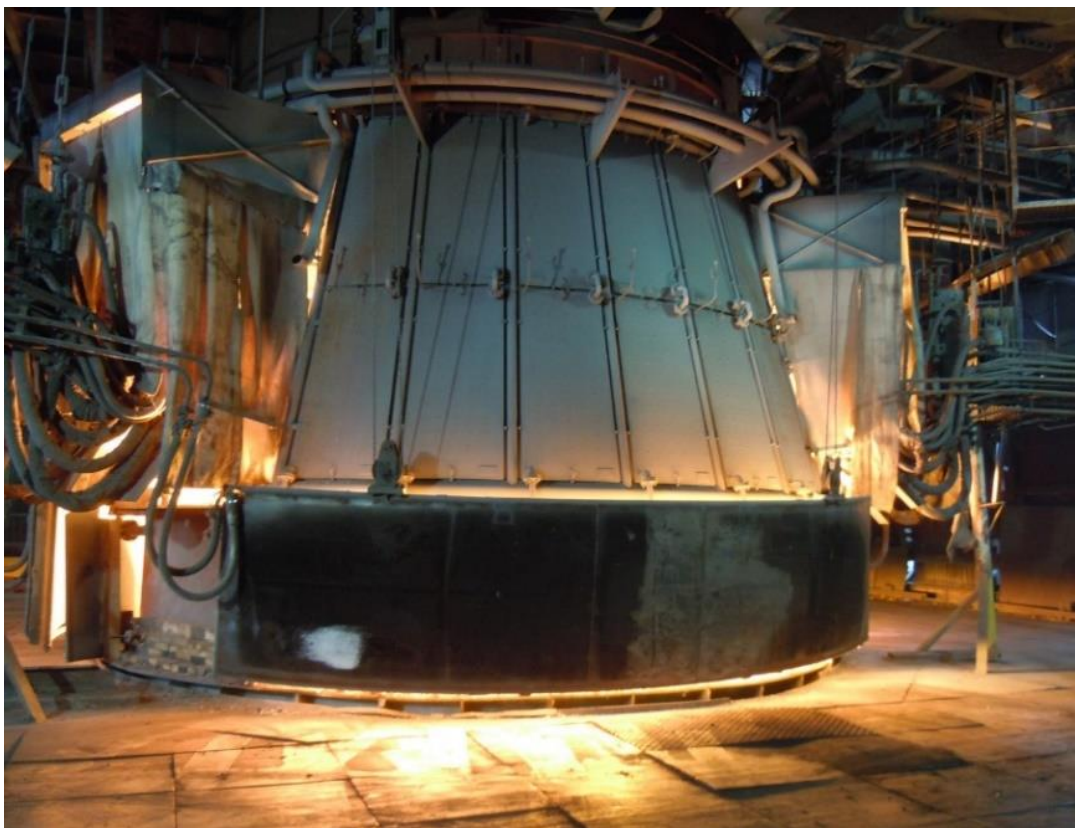
Klobúk (obr. 11.36) je technologické zariadenie zavesené nad elektrickou oblúkovou pecou na konštrukcii výrobnéj haly, pod plošinou v úrovni +13,5 m. Je rotačného tvaru so zvislou osou zhodnou s osou pece. Klobúk je inštalovaný okolo osi pece, prechádzajú ním tri zvislé elektródy. Cez 3 medzery v klobúku z troch strán sú usporiadané privody elektrického prúdu k elektródam.

Hlavnou úlohou chladeného klobúka je odobrať časť vyžarovanej energie z procesu tavenia ferozliatín a odovzdať ju prostredníctvom zariadenia do energetického systému závodu.

Vedľajším účinkom funkcie zariadenia je zníženie teploty odťahovaných spalín a zlepšenie pracovného prostredia (zníženie teploty) v okolí pece.

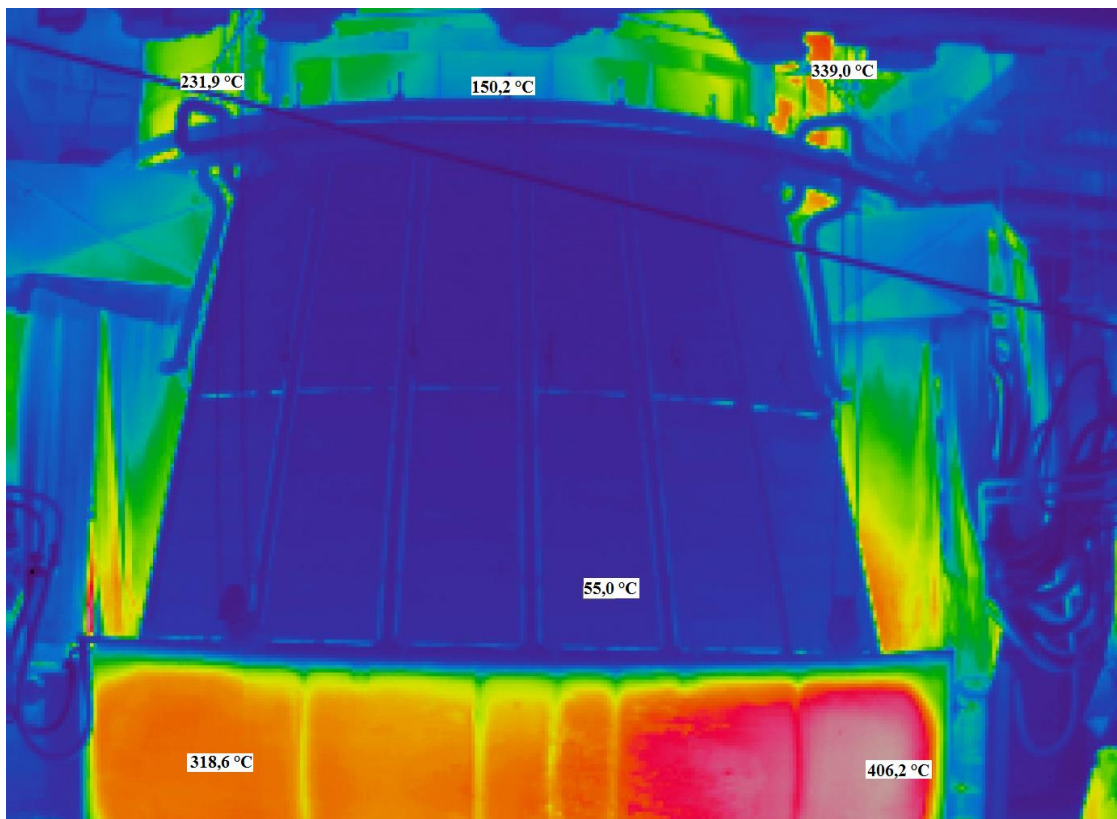
Klobúk pece pozostáva z týchto častí:

- 3 kusy – segmenty klobúka, sú zložené s rúrkových rámov a panelov chladiča 1 a 2.
- 3 kusy – panely chladiča 3.
- Prstenec je zložený s rúrkového rámu a výmenníkov prstenca.
- 3 kusy – clony, sú zložené s rúrkových rámov a výmenníkov clony.
- Rozvod vody.
- Doplnkové súčasti – spojovacie, ochranné, bezpečnostné a podobne.



Obr. 11.36 Pohľad na klobúk pece umiestnený v prevádzke (Malcho, 2018).

Jednou z metód, ktorou je možné overiť správnu funkčnosť klobúka pece, je použitie termovízneho merania prostredníctvom termovíznej kamery. Na obr. 11.37 je znázornené rozloženie teplôt na klobúku pece počas prevádzky.



Obr. 11.37 Rozloženie teplôt na klobúku pece počas prevádzky – snímka z termovíznej kamery (Malcho, 2018).

Povrchová teplota klobúka sa pohybovala na ustálenej hodnote cca 55 °C. Takéto rovnomerné rozloženie teplôt po celom povrchu poukazuje na správnu funkčnosť tohto plášťa pece. Teplota dvernej clony na ľavej strane vykazovala hodnotu cca 318 °C, na pravej strane cca 406 °C. Takúto značnú rozdielnosť teplôt je možné pripísať lokálnemu teplotnému výronu vnútornej vsádzky pece na povrchu hladiny ferozliatiny.

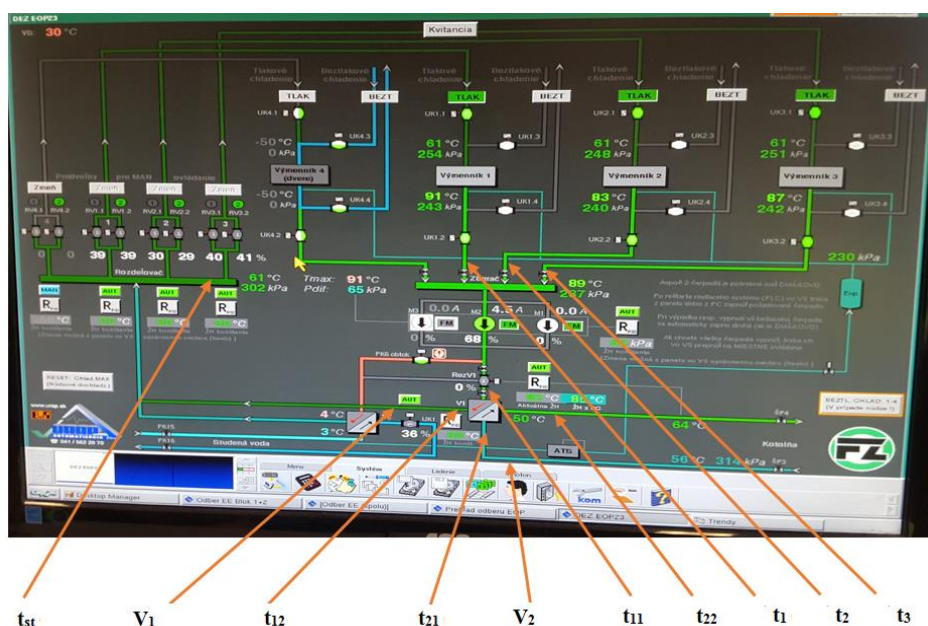
11.11.3. Meranie a vyhodnotenie výkonových parametrov systému na spätné získavanie tepla z klobúka elektrickej oblúkovej pece EOP

Pre potrebu validácie skutočných výkonových parametroch systému na spätné získavanie tepla vzhľadom na navrhované, resp. vypočítane parametre sa realizuje meranie. Samotné meranie prebieha vo výmenníkovej stanici, kde sú umiestnené výkonové a radiacie prvky celého systému.

Tabuľka 11.5 Označenie meraných veličín a kanálov meracej ústredne (Malcho, 2018).

Veličina	Kanál	Poznámka
t_{11} [°C]	040	Vstup TV do VT zo zberača segmentov klobúka.
t_{12} [°C]	041	Výstup TV z VT.
t_{21} [°C]	042	Vstup TV do VT zo spiatočky sekundára.
t_{22} [°C]	043	Výstup TV z VT do sekundára.
t_{st} [°C]	044	Teplota na rozdeľovači pred vstupom do segmentov klobúka EOP23.
t_1 [°C]	055	Teplota na výstupe zo segmentu S1.
t_2 [°C]	056	Teplota na výstupe zo segmentu S2.
t_3 [°C]	057	Teplota na výstupe zo segmentu S3.
V_1 [m ³ .h ⁻¹]	000	Objemový prietok TV v okruhu klobúka (4 – 20 mA; 0 – 100 m ³ .h ⁻¹).
V_2 [m ³ .h ⁻¹]	001	Objemový prietok TV v sekundári (4 – 20 mA; 0 – 100 m ³ .h ⁻¹) odvod do kúrenia.

Na obr. 11.38 sú znázornené umiestnenia snímačov na meracích miestach vo výmenníkovej stanici. Na definovanie meracích miest sa využila grafická schéma z riadiaceho systému zariadenia. V tabuľke 11.5 je uvedený prehľad meraných veličín a kanálov meracej ústredne.



Obr. 11.38 Definovanie meracích miest (Malcho, 2018).

11.12. Využitie strednopotenciálneho tepla spalín z taviaceho agregátu v technológii výroby keramických izolátorov

Technologické procesy, v ktorých sa uskutočňujú fázové premeny pri vysokých teplotách, sú charakteristické vysokou potrebou tepla na dosiahnutie týchto potrebných teplôt. Medzi takéto procesy patria aj technológie v keramickom priemysle, v ktorých

v dôsledku ohriatia anorganického tuhého materiálu na vysokú teplotu dochádza žiarovými reakciami ku vzniku viacerých kryštalických fáz. Latentné teplo potrebné na ohrev a rekryštalizáciu je relatívne nízke, a preto zvyšné teplo uniká z technologického procesu a býva často masívnym zdrojom strednepotenciálneho tepla. Vzhľadom na výrazne nestacionárny charakter odpadového tepla, ako aj jeho potenciálu, nie je ekonomicky výhodné využívať tento zdroj tepla na výrobu elektrickej energie cez parný Carnotov cyklus a nie je ani vhodné využívať takýto zdroj tepla v iných na teplo náročných technológiách iného charakteru ako je výroba keramiky (ohrevy skleníkov, sušenie dreva, ohrev bazénov a podobne). Tieto spotrebiče tepla si vyžadujú dodávku tepla i v prípade, keď je z nejakých dôvodov výroba produkujúca odpadové teplo odstavená. Preto sa ako vhodné a ekonomicky najpriateľnejšie ukazuje využiť odpadné teplo v tom technologickom procese, ktorý ho produkuje (ak je to vzhľadom na potenciál tepla možné). V technologickom procese výroby izolátorov pre silnoprúdovú elektrotechniku sú masívnymi zdrojmi odpadového tepla i komorové pece na výpal izolátorov a masívnym spotrebičom strednepotenciálneho tepla je rozprašovacia sušiareň suroviny na výrobu izolátorov. Ukazuje sa ako veľmi výhodné prepojiť technológiu výpalu v komorovej peci prostredníctvom výmenníka tepla na predohrev vzduchu pre sušenie suroviny v rozprašovacej sušiarňi, a tak znížiť spotrebu primárneho paliva (zemného plynu) používaného na ohrev sušiaceho média. Na obr. 11.39 sú znázornené keramické izolátory pre elektrické stroje a vedenia.



Obr. 11.39 Keramické izolátory pre elektrické stroje a vedenia (Malcho, 2018).

11.12.1. Špecifikovanie technického problému

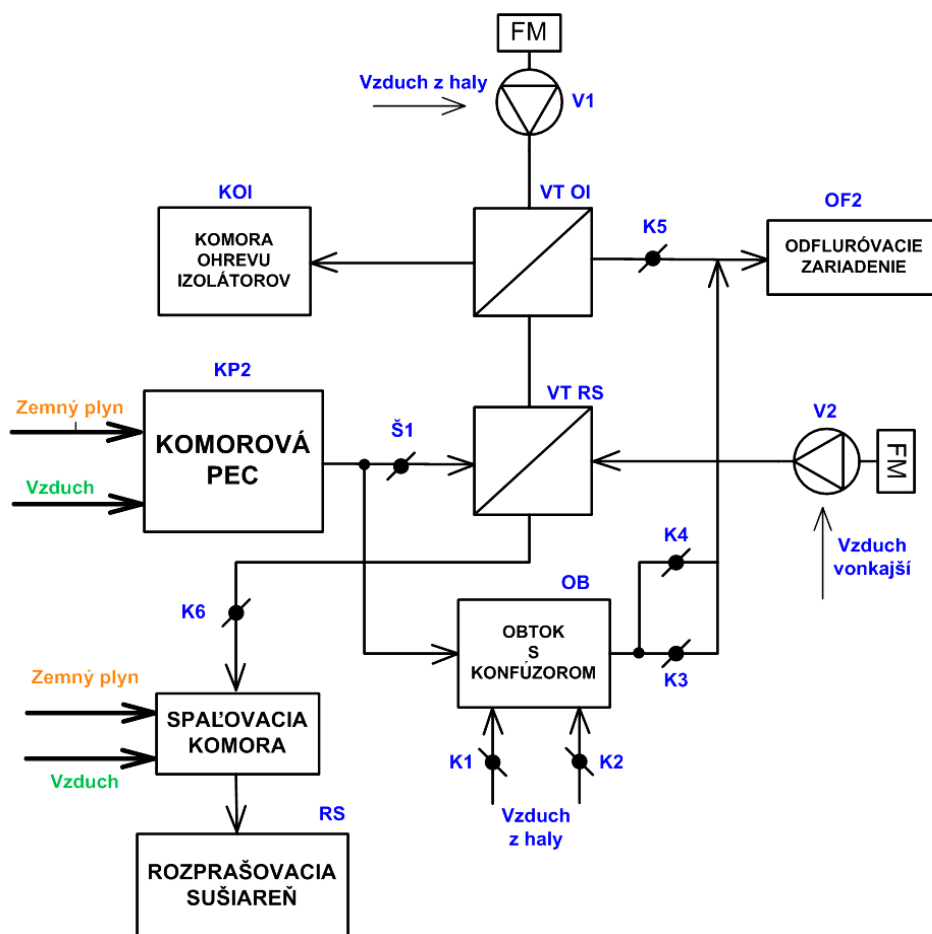
V prevádzke bol pripravovaný projekt stavby druhej komorovej pece (KP2) na výpal keramických izolátorov. Odpadové teplo z prvej komorovej pece (KP1) sa využívalo na ohrev teplej vody a na vykurovanie objektov, preto sa hľadal aj iný spôsob využitia tepla z pripravovanej komorovej pece ako je vykurovanie. Po analýze potenciálnych spotrebičov tepla v technológii výroby elektrických izolantov sa ako najvhodnejším spotrebičom odpadového tepla ukázala rozprašovacia sušiareň, v ktorej sa na ohrev sušiaceho média – zmesi spalín a vzduchu používa – spaľovacia komora s horákom na zemný plyn.

Dosahované spotreby zemného plynu pri teplote na vstupe do sušiarne $380\text{ }^{\circ}\text{C}$ sú $140\text{ nm}^3\cdot\text{h}^{-1}$, čomu zodpovedá tepelný výkon cca $1,3\text{ MW}$. Ďalším spotrebičom tepla

je komora na ohrev izolátorov pred glazovaním, v ktorej sa v súčasnosti využíva na ohrev teplý vzduch z tunelovej pece, ktorý je v prípade potreby dohrievaný na požadovanú teplotu v spaľovacej komore horákom na zemný plyn.

11.12.2. Návrh koncepcie riešenia

Na ohrev vzduchu pre rozprašovací sušiareň bol navrhnutý plášťový rúrkový výmenník tepla spaliny – vzduch, ktorý spalinami a vzduchom z podpečného kanála ohrieval vzduch nasávaný z vonkajšieho prostredia priemernej teploty vzduchu 10 °C. Výmenník tepla sa zapojil paralelne s obtokom, ktorý umožňuje prevádzkovať pec i bez výmenníka tepla a umožňuje v štádiu odfluórovania (cca 21 hodín zo 78 hodinového výpalu) aj pri nízkej teplote spalin na výstupe ich dohriatie na požadovanú teplotu. Principiálna koncepcia riešenia je zrejmá z obr. 11.40. Tento vzduch by bol vzduchovodom $\varnothing = 800$ mm dopravovaný do rozprašovacej sušiarne a tangenciálne pripojený k vonkajšiemu plášťu spaľovacej komory paralelne s dvomi prívodmi prirodzene nasávaného vzduchu. Tento spôsob pripojenia ohriateho vzduchu bol zvolený z dôvodu nezávislosti existujúcej technológie sušenia od poruchy ohrevu vzduchu (ak by pec KP2 bola mimo prevádzky). Pri prevádzkovaní ohrevu vzduchu pre rozprašovaciu sušiareň (RS) musia byť žalúziové klapky na otvoroch pre prirodzené prisávanie vzduchu tesne zatvorené.



Obr. 11.40 Schéma zapojenia systému na spätné získavanie tepla z KP2 (Malcho, 2018).

Množstvo vonkajšieho privádzaného vzduchu je vypočítané tak, aby pri konštantnej teplote na vstupe do rozprašovacej sušiarne bolo 380 °C a pri premenlivej teplote ohriateho vzduchu 100 °C – 200 °C kolísala rýchlosť sušiaceho média maximálne $\pm 3\%$. Na využitie zvyškovej entalpie spalín vychádzajúcich z výmenníka tepla na ohrev vzduchu pre rozprašovaciu sušiareň bol navrhnutý plášťový rúrkový výmenník tepla spaliny – vzduch na predohrev vzduchu do komory na ohrev izolátorov. Spaliny vystupujúce zo sériovo zapojených VT na strane spalín sú relatívne studené a pre odfluórenie potrebujú mať požadovanú teplotu. Preto na ohrev spalín za výmenníkmi tepla pri odfluórovaní bolo navrhnuté použiť spalinovod $\varnothing = 200$ mm s regulačnou klapkou, ktorý privádza potrebné množstvo horúcich spalín teploty cca 600 °C do prívodu k fluórabSORBERU, kde sa zmiešali na požadovanú teplotu.

Výmenník tepla na ohrev vzduchu do komory pre ohrev izolátorov (VT OI) predhrieval vzduch (cca $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, 20 °C) nasávaný z priestoru nad výmenníkmi tepla. Tento vzduch sa dohrial na teplotu vhodnú na ohrev izolátorov a vzduchovodom sa dopravil do komory na ohrev izolátorov, z ktorej bude prúdiť do priestoru haly.

Hmotnostné prietoky oboch ohrievaných vzduchov sa predpokladajú stacionárne, ale nastaviteľné pomocou frekvenčného meniča otáčok ventilátorov podľa požiadaviek technológie rozprašovacieho sušenia a ohrevu izolátorov.

11.12.3. Tepelno-technické požiadavky na výmenníky tepla spaliny – vzduch

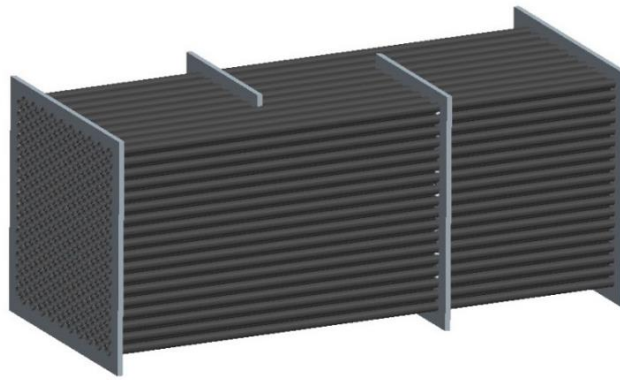
Výmenníky tepla na predohrev vzduchu odpadným teplom spalín sa navrhli ako rekuperačné plášťové viactáhové v protiprúdovom usporiadaní, nielen na strane vzduchu, ale aj na strane spalín.

Výmenníky tepla majú z dôvodu výraznej nestacionarity vstupných veličín i funkciu akumulátora tepla a zabezpečia tak vyhladenie výstupných teplôt ohriateho vzduchu z výmenníkov tepla.

Koncepcný návrh výmenníka tepla pre rozprachovú sušiareň

Vzhľadom na prevádzkové parametre výmenníkov tepla na predohrev vzduchu pre rozprašovaciu sušiareň a na ohrev izolátorov, ako aj z dôvodu nestacionárneho priebehu vstupných veličín na strane spalín (teploty v podpecnom kanáli, hmotnostný prietok spalín) bola zvolená koncepcia plášťového výmenníka tepla so zväzkom rúrok.

Spaliny prúdia vo vnútri rúrkového zväzku (obr. 11.41) a vzduch v medzirúrkovom priestore. Zväzok rúrok je usporiadaný šachovnicovo. Výmenníky tepla pre rozprachovú sušiareň a ohrev izolátorov boli vypočítané pre dve usporiadania. Jedno je vertikálne tandemové usporiadanie VT RS a VT OI za sebou s jedným ťahom spalín a piatimi ťahmi vzduchu v VT RS a tromi ťahmi vzduchu vo VT OI a druhé je horizontálne tandemové usporiadanie VT RS a VT OI za sebou po segmentoch s jedným ťahom spalín a tromi ťahmi vzduchu v VT RS a tromi ťahmi vzduchu vo VT OI. Výmenník tepla VT RS je zložený z troch horizontálnych segmentov na sebe a VT OI je z jedného segmentu položeného na VT RS.



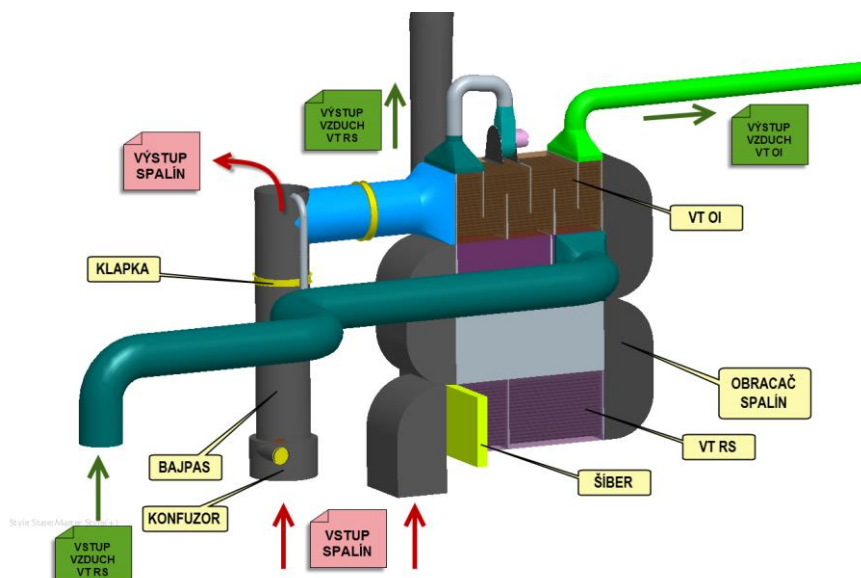
Obr. 11.41 Rúrkovnica jedného segmentu výmenníka tepla
(Malcho, 2018).

Teplotná záťaž materiálu výmenníkov tepla vyplýva z teploty zmesi spalín a vzduchu v podpecnom kanáli, preto tieto časti sú konštruované zo žiaruvzdorného ocelového plechu.

11.12.4. Základný konštrukčný návrh VT RS

Výmenník tepla na ohrev vzduchu pre rozprašovací sušiareň VT RS (obr. 11.42) je koncipovaný ako trojsegmentový plášťový výmenník tepla so zväzkom rúrok $De = 51$ mm (vonkajší priemer rúrky), $Di = 46$ mm (vnútorný priemer rúrky), $L = 3\,000$ mm (dĺžka rúrky) umiestnených v šachovici 65×65 mm s tromi prepážkami v jednom ťahu.

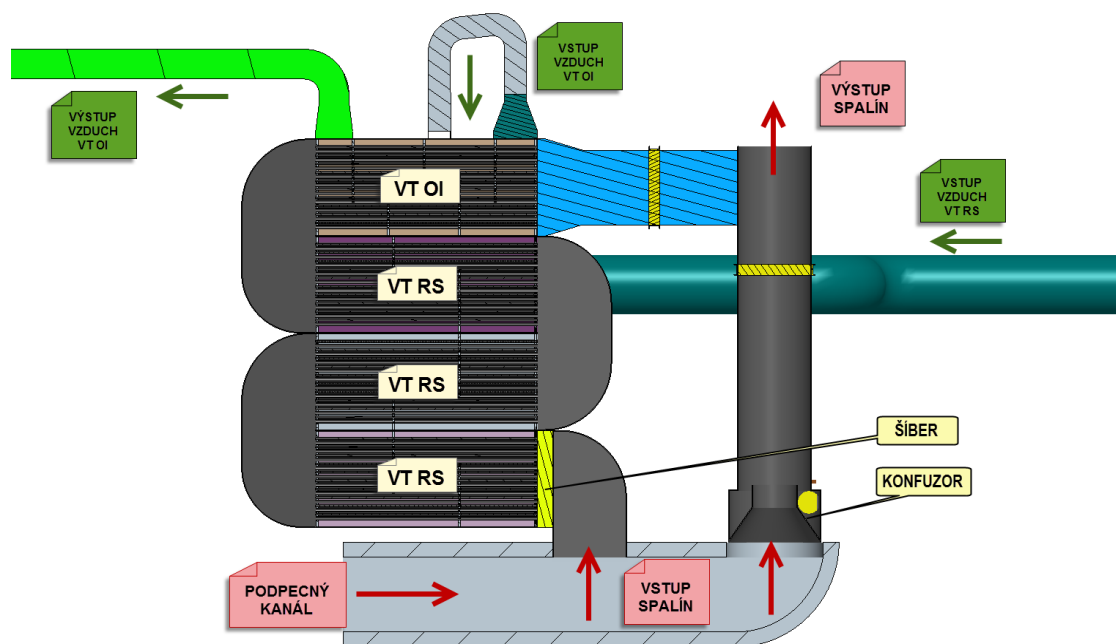
VT RS je možné odstaviť pomocou posúvača a klapky na výstupe spalín. Prívod a odvod ohrievaného vzduchu je volený protiprúdne voči spalínám. Spaliny prúdia vo vnútri rúrok a vzduch v medzirúrkovom priestore. V prípade potreby je možné konštrukčne zabezpečiť prístup k rúrkovniciam.



Obr. 11.42 Usporiadanie výmenníkov tepla systému spätného získavania tepla
(Malcho, 2018).

Na troch segmentoch VT RS je umiestnený jeden segment výmenníka tepla, ktorý predhrieva vzduch pre komoru na ohrev izolantov VT OI. Na obr. 11.43 je znázornené

situovanie systému spätného získavania tepla v pozdĺžnom reze a jeho umiestnenie v závislosti od podpevného kanála.



Obr. 11.43 Situovanie systému spätného získavania tepla v reze (Malcho, 2018).

11.12.5. Akumulácia tepla

Z nameraných priebehov hmotnostného prietoku a teploty spalín vyplýva, že teplota vzduchu privádzaná do spaľovacej komory v RS nie je stacionárna a jej priebeh je závislý od teploty spalín v podpevnom kanáli. Tento vypočítaný priebeh bol počítaný pre výmenník tepla s nízkou tepelnou kapacitou voči celkovému prenášanému tepelnému toku. Priebeh teploty výstupného ohriateho vzduchu bude na reálnom zariadení „vyhladenejší“, lebo tepelná kapacita systému na spätné získavanie tepla nie je zanedbateľná.

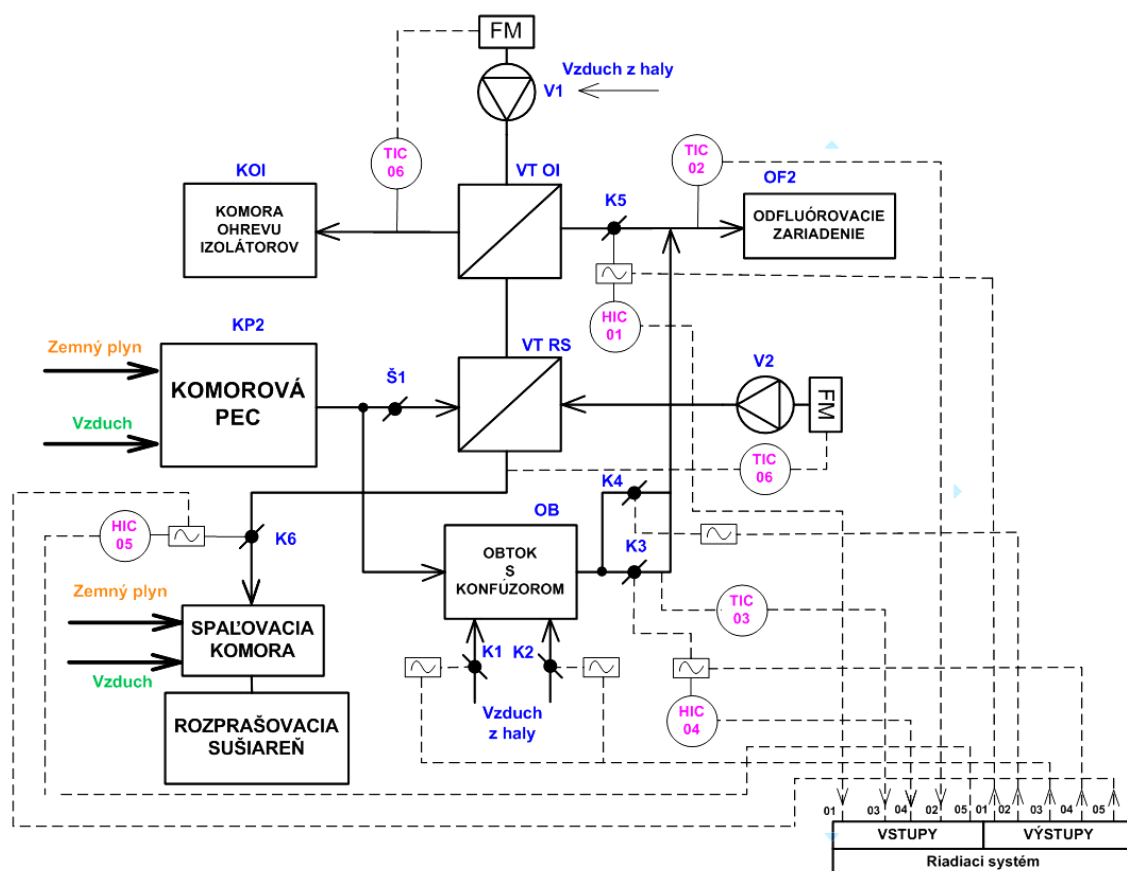
Ak sa uváži hmotnosť rúrkovnic, plášťa VT RS a hmotnosti vzduchovodov, ktoré sú cca 27 000 kg, a špecifická tepelná kapacita ocele $469 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, potom pri tepelnej kapacite celého systému $12,663 \text{ MJ.K}^{-1}$ bude systém vykazovať omnoho vyhladenejší priebeh teploty vzduchu privádzaného do spaľovacej komory rozprašovacej sušičky a riadiaci systém dohrevu vzduchu (riadenie horáka) by nemal mať problémy s udržaním nastavenej teploty na vstupe do sušičky.

Na zmenu teploty systému spätného získavania tepla o 1 K za 10 minút je potrebné dodať alebo odobrať tepelný výkon cca 21 kW.

Vzhľadom na značnú tepelnú kapacitu celého systému na získavanie tepla na predohrev vzduchov pre RS a OI, ktorý má ekvivalentnú tepelnú kapacitu ako tepelný akumulátor z betónových blokov celkovej hmotnosti (pri $\rho_{\text{betón}} = 2\,200 \text{ kg.m}^{-3}$, $c = 850 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$) cca 15 000 kg a ďalšiu pridanú tlakovú stratu, sa nepovažuje zaradenie akumulátora tepla do okruhu za VT RS za optimálne riešenie.

11.12.6. Návrh merania a regulácie systému a jeho riadenie

Schéma návrhu ovládania systému na spätné získavanie tepla z KP2 je znázornená na obr. 11.44.



Obr. 11.44 Bloková schéma miestneho a diaľkového ovládania

(V1 FM-ventilátor s frekvenčným meničom na ohrev vzduchu do komory ohrevu izolátorov (KOI); V2 FM-ventilátor s frekvenčným meničom na ohrev vzduchu do rozprašovacej sušiarne (RS); VT OI-výmenník tepla spaliny vzduch na ohrev izolátorov v KOI; VT RS-výmenník tepla spaliny vzduch na sušenie kalu v RS; KP2-nová komorová pec (zdroj odpadového tepla – spalín); OF2-nové odfluórovacie zariadenie; RS-rozprašovacia sušiareň; OB-obtok s konfúzorom; Š1-ručný posúvač na dostavenie VT RS; VT OI; K1, K2-klapky $\varnothing 300$ na prisávanie studeného vzduchu do OB a reguláciu jeho výstupnej teploty; K3-klapka $\varnothing 1\ 000$ na otvorenie toku spalín cez OB; K4-klapka $\varnothing 150$ na primiešavanie spalín na vstup OF2 pre zabezpečenie žiadanej teploty do OF2; K5- klapka $\varnothing 1\ 000$ na otvorenie toku spalín cez OF2; K6-klapka $\varnothing 800$ na uzatváranie vzduchovodu do RS) (Malcho, 2018).

Ovládanie klapiek K1 až K6 je miestne, ručné alebo diaľkové. Všetky tieto klapky sú ovládané motoricky. Klapky K1 a K2 sú spriahnuté a budú riadené od žiadanej teploty T03 (výstupná teplota za obtokom). V čase odfluórovania sú tieto klapky riadené od T02 (vstupná teplota do OF2). Žiadaná hodnota je cca 200 °C. Toto platí v prípade, že spaliny z KP2 idú cez OB, t. j. ručný šiber Š1 je uzavretý, K5 je zavretá a výmenníky VT RS, VT OI nepracujú. V prípade, že Š1 je otvorený, musí byť otvorená aj K5 a K3 je zatvorená.

V tomto prípade a v čase odfluórovania spalín v OF2 je teplota T03 riadená klapkou K4 na žiadanú teplotu. Priemerná vstupná teplota vzduchu do RS, T06 je cca 140 °C pri hmotnostnom toku vzduchu 11 700 kg.h⁻¹, 10 °C. Táto teplota je riadená otáčkami V2. V RS je požadovaná teplota 380 °C, preto množstvo sušiaceho média a jeho teplota budú doregulované výkonom horáka v spaľovacej komore. Množstvo vzduchu 1 m³.s⁻¹ o teplote cca 80 °C z VT OI do KOI je riadené V1 (Malcho, 2018).

LITERATÚRA

Knihy / Monografie:

- BAKKER, E. a kol. 2010. *Gas heat pumps. Efficient heating and cooling with natural gas.* Netherlands: GasTerra/Castel international Publishers, 2010.
- BLAŽEJ, A. a kol. 1975. *Chémia dreva.* Bratislava: Alfa, 1975.
- BÖSZÖRMÉNYI, L. 2001. *Vývoj predstáv o Košickom geotermálnom projekte.* Košice: Štroffek, 2001, 110 s., ISBN 80-88896-33-9.
- CARROLL, J. 2003. *Natural gas hydrates: A guide for engineers.* Elsevier Science: Burlington, 2003, ISBN 0-7506-7596-1.
- CENEK, M. 2001. *Obnoviteľne zdroje energie.* Praha: FCC Public, 2001.
- CENGEL, Y.A. 2003. *Heat transfer: A practical approach.* 2nd ed., McGraw-Hill, 2003, ISBN 0072458933.
- CENGEL, Y.A. 2008. *Heat transfer. 3/5.* Second edition, New York: McGraw-Hill, 2008.
- CENGEL, Y.A. – GHAJAR, A. 2015. *Heat and mass transfer: fundamentals & applications.* 5. vyd., New York: McGraw-Hill, 2015, 968 s., ISBN 978-0-07-33981-1.
- CENKA, M. 2001. *Obnoviteľné zdroje energie.* Praha: FCC Public, 2001, ISBN: 80-901985-8-9.
- CIHELKA, J. 1994. *Solárni tepelná technika.* Praha, 1994.
- CIKHART, J. 1970. *Výměníky tepla v tepelných sítích.* Praha: SNTL, 1970, 415 s.
- ČAJA, A. – KAPJOR, A. – TUHOVČÁK, J. – HEJČÍK, J. 2020. *Chladiace obehly a tepelné čerpadlá.* EQUILIBRIA, s.r.o, 2020, 1. vydanie, 136 s., ISBN 978-80-8143-262-0.
- ČARNOGURSKÁ, M. 2001. *Zdroje a premena energie.* Košice: TU Košice, 2001.
- ČERNECKÝ, J. – KONIAR, J. – BRODNIANSKÁ, Z. 2012. *Možnosti optimalizácie tvaru teplovýmenných plôch výmenníkov tepla s využitím experimentálnych metód a fyzikálneho modelovania.* Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2012, 172 s., ISBN 978-80-228-2325-8.
- DEMIRBAS, A. 2010. *Methane gas hydrate.* Springer-Verlag London, 2010, 183 s., ISBN 978-1-84882-871-1.
- DRÁBEK, D. – KLEPÁČ, J. 1998. *Procesné strojnictvo II.* Bratislava: STU, Bratislava, 1998.
- DZURENDA, L. 2005. *Spaľovanie dreva a kôry.* Zvolen: TU vo Zvolene, 2005, ISBN 80-228-1555-1.

- DZURENDA, L. – JANDAČKA, J. 2010. *Energetické využitie dendromasy*. Zvolen: TU vo Zvolene, 2010, ISBN 978-80-228-2082-0.
- FIŠER, J. – POKORNÝ, J. – VANTÚCH, M. – KAPJOR, A. 2020. *Vetranie a klimatizácia. Návody na laboratórne cvičenia*. EQUILIBRIA, s.r.o, 2020, 1. vydanie, 50 s., ISBN 978-80-8143-263-7.
- HARTMANN, H. – THUNEKE, K. – HOLDRICH, A. – ROZMANN, P. 2003. *Handbuch bioenergie – kleinanlagen*. FNR mit förderung des bundesministeriums für verbraucher-schutz, ernährung und landwirtschaft, 2003, ISBN 3-00-011041-0.
- HOLOUBEK, D. 2002. *Spaľovacie zariadenia, výmenníky tepla kotly*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2002, 215 s., ISBN 80-7099-832-6.
- HOOGERS, G. 2003. *Fuel cell technology – Handbook*. CRC Press, 2003.
- HORBAJ, P. – MARASOVÁ, D. – ANDREJČÁK, I. 2007. *Bioplyn a jeho využitie*. Košice: Fakulta BERG, TU Košice, 2007, ISBN 978-80-8073-777-1.
- IBLER, Z. 2002. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN – technická literatura, 2002, ISBN 80-7300-026-1.
- INCROPERA, F.P. et al. 2007. *Fundamentals of heat and mass transfer – sixth edition*. U.S.A., 2007, 997 s., ISBN-13: 978-0471457282, ISBN-10: 0471457280.
- JANDAČKA, J. 2009. *Příklady správné praxe při vykurovaní biomasou*. 2009, ISBN 978-80-969595-8-7.
- JANDAČKA, J. – HOLUBČÍK, M. – ĎURČANSKÝ, P. – KANTOVÁ, N. 2020. *Spaľovanie biomasy s nízkou teplotou tavitelnosti popola*. EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2020, 233 s., ISBN 978-80-554-1639-7.
- JANDAČKA, J. – HOLUBČÍK, M. – KANTOVÁ, N. 2019. *Zdroje a premena energie*. EDIS – vydavateľské centrum ŽU, 2019, ISBN 978-80-554-1533-8.
- JANDAČKA, J. – HOLUBČÍK, M. – PATSCH, M. – VANTÚCH, M. 2016. *Moderné zdroje tepla na vykurovanie*. EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity v Žiline, 2016, ISBN 978-80-554-1230-6.
- JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2007. *Biomasa ako zdroj energie. Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti palív*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2007, ISBN 978-80-969161-3-9. (a)
- JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2007. *Technológie pre prípravu a energetické využitie biomasy*. Mojš: Jozef Bulejčík, 2007, ISBN 978-80-969595-3-2. (b)
- JANDAČKA, J. – MIKULÍK, M. 2007. *Technológie pre zvyšovanie energetického potenciálu biomasy*. Mojš: Jozef Bulejčík, 2007, ISBN 978-80-969595-4-9. (c)
- JANDAČKA, J. – MALCHO, M. 2007. *Biomasa ako zdroj energie*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2007, ISBN 978-80-969161-4-6. (d)

- JANDAČKA, J. – MALCHO, M. – MIKULÍK, M. 2008. *Ekologické aspekty zámeny fosilných palív za biomasu*. Mojš: Jozef Bulejčík, 2008, ISBN 978-80-969595-5-6. (a)
- JANDAČKA, J. – MIKULÍK, M. 2008. *Ekologické aspekty spaľovania biomasy a fosilných palív*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2008, ISBN 978-80-969161-7-7. (b)
- JANDAČKA, J. – NOSEK, R. – KADUCHOVÁ, K. – KOLKOVÁ, Z. 2011. *Využitie rastlinnej biomasy v energetike*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2011, ISBN 978-80-89401-39-0.
- JANDAČKA, J. – PAPUČÍK, Š. – NOSEK, R. – HOLUBČÍK, M. – KAPJOR, A. 2011. *Environmentálne a energetické aspekty spaľovania biomasy*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2011, ISBN 978-80-89401-40-6. (a)
- JANÍČEK, F. a kolektiv autorů. 2007. *Obnoviteľné zdroje energie I – Technológie pre udržateľnú budúcnosť*. Bratislava: STU FEI, 2007, ISBN: 978-80-969777-0-3.
- JELEMENSKÝ, K. – ŠESTÁK, J. – ŽITNÝ, R. 2000. *Tepelné pochody*. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2000, 243 s., ISBN 80-227-1416-X.
- JÍCHA, M. 1982. *Přenos tepla a látky*. 1. vyd., Brno: Edič. střed. Vys. uč. techn., 1982.
- KABÁT, V. – SIDÓ, P. 1988. *Spaľovacie zariadenia a výmenníky tepla*. Bratislava: Edičné stredisko SVŠT v Bratislave, 1988, 241 s.
- KADRNOŽKA, J. 1984. *Tepelné elektrárny a teplárny*. Praha: SNTL, 1984, 607 s.
- KADRNOŽKA, J. – OCHRANA, L. 2001. *Teplárenství*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001, ISBN 80-7204-222-X.
- KAPJOR, A. – KADUCHOVÁ, K. – LENHARD, R. – SMATANOVÁ, H. 2017. *Přenos tepla z orientovaných teplovýmenných plôch pri prirodzenej konvekcií*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2017, 326 s., ISBN 978-80-554-1304-4.
- KÁRA, J. et al. 1997. *Využití biomasy pro energetické účely*. Praha: CEA, 1997.
- KLENOVČANOVÁ, A. – IMRIŠ, I. 2008. *Zdroje a premeny energie*. Prešov: ManaCon, 2008.
- KOLONIČNÝ, J. – OCHODEK, T. – BOGOCZOVÁ, V. 2009. *Příklady správné praxe při vytápění biomasou*. Ostrava: Vysoká škola banská – Technická univerzita, 2009, ISBN 978-80-248-2072-9.
- KONIAR, J. 2014. *Energetické premeny*. 2014.
- KUTATELADZE, S.S. – BORIŠANSKIJ, V.M. 1962. *Průručka sdílení tepla*. Praha: STNL, 1962.
- LÁBAJ, J. – KAPJOR, A. – PAPUČÍK, Š. 2010. *Alternatívne palivá pre energetiku a dopravu*. Žilina: Juraj Štefuň – GEORG, 2010, ISBN 978-80-89401-15-4.

- MALCHO, M. – GAVLAS, S. – PAPUČÍK, Š. – KADUCHOVÁ, K. 2018. *Spätne získavanie tepla z technologických procesov*. EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2018, ISBN 978-80-554-1415-7.
- MALCHO, M. – LENHARD, R. – KADUCHOVÁ, K. 2021. *Hydráty zemného plynu a ich výroba*. EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2021, ISBN 978-80-554-1766-0.
- MARKO, Š. – DARUĽA, I. – SMOLA, A. – ŠIMUNEK, P. 1988. *Energetické zdroje a premeny*. Bratislava: ALFA, 1988, ISBN 80-05-00084-7.
- MASTNÝ, P. 2011. *Malé zdroje elektrické energie*. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2011.
- MASTNÝ, P. a kol. 2011. *Obnoviteľné zdroje elektrické energie*. Praha: ČVUT, 2011, 256 s., ISBN 978-80-01-04937-2.
- MIKA, J. – PETRÁNKOVÁ ŠEVČÍKOVÁ, S. – MÍČEK, L. 2021. *Bezpečnosť v energetike*. Ostrava, 2021, ISBN 978-80-248-4553-1.
- MIKULÍK, M. 2009. *Technológie pre kachľové pece*. Mojs: Jozef Bulejčík, 2009, ISBN 978-80-969595-6-3. (a)
- MIKULÍK, M. – JANDAČKA, J. 2009. *Postupy správneho vykurovania*. Mojs: Jozef Bulejčík, 2009, ISBN 978-80-969595-7-0. (b)
- NOSKIEVIČ, P. kolektív autorů. 1996. *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava: Vysoká škola banská – Technická univerzita, 1996, ISBN 80-7078-367-2.
- OCHODEK, T. – KOLONIČNÝ, J. – BRANC, M. 2007. *Technológie pro přípravu a energetické využití biomasy*. Ostrava: Vysoká škola banská – Technická univerzita, Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1426-1.
- OCHODEK, T. – KOLONIČNÝ, J. – JANÁSEK, P. 2006. *Potenciál biomasy, druhy, bilancie a vlastnosti paliv z biomasy*. Ostrava: Vysoká škola banská – Technická univerzita, Ostrava, 2006, ISBN 80-248-1207-X.
- PASTOREK, Z. – KÁRA, J. – JEVIČ, P. 2004. *Biomasa obnoviteľný zdroj energie*. FCC PUBLIC, 2004, ISBN 80-86534-06-5.
- PAVELEK, M. a kol. 2006. *Termomechanika*. Brno, 2006, 283 s., ISBN: 80-214-2409-5.
- PAVELEK, M. – ŠTĚTINA, J. *Experimentální metody v technice prostředí*. Brno: VUT.
- PETRÁŠ, D. a kol. 2001. *Nízkotepelné vykurovanie a obnoviteľné zdroje energie*. Bratislava: JAGA group, s.r.o., 2001, 271 s., ISBN 80-88905-12-5.
- PETRÁŠ, D. a kol. 2005. *Vykurovanie rodinných a bytových domov*. JAGA group, s.r.o., 2005, 246 s., ISBN 80-8076-012-8.
- PETRÁŠ, D. – LULKOVICHOVÁ, O. – TAKÁCS, J. – FÜRI, B. 2009. *Obnoviteľné zdroje energie pre nízkotepelné systémy*. Bratislava: Jaga Group, 2009, 223 s., ISBN 978-80-8076-075-5.

- PILARŤ, A. a kol. 1964. *Chemické inženýrství 2 – Operace výměny tepla*. Praha: STNL, 1964.
- RAPŠÍK, M. – SMOLA, M. – BOHÁČ, M. – MUCHA, M. 2004. *Základy energetiky I*. Bratislava: STU, Bratislava, 2004, ISBN 80-227-2074-7.
- RAŽNJEVIČ, K. 1984. *Termodynamické tabuľky*. Bratislava: Alfa, 1984.
- RIEDL, R. 1971. *Hospodaření energiemi*. SNTL – Nakladatelství technické literatury, Nakladatelství ALFA, n. p., Bratislava, 1971, 04-404-71.
- RYBÁR, R. – TAUŠ, P. – HORBAJ, P. 2011. *Technológie alternatívnych zdrojov vodná energia a biomasa*. 1. vyd., Košice: ES F BERG TU, 2011, 93 s., ISBN 978-80-553-0693-3.
- SAZIMA, M. a kol. 1993. *Sdílení tepla*. Praha: STNL – Nakladatelství technické literatury, 1993, 720 s., ISBN 80-03-00675-9.
- SCHULZ, H. 2005. *Savoniův rotor*. Ostrava: HEL, 2005, ISBN: 80-86167-26-7.
- SCHUTZ, H. – EDER, B. 2004. *Bioplyn v praxi*. Ostrava: HEL, 2004, 168 s., ISBN: 80-86167-21-6.
- SCHVARZBACHEROVÁ, E. – HORBAJ, P. 2015. *Spalovacie zariadenia a výmenníky tepla*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2015, ISBN 9788055321660.
- SRDEČNÝ, K. – TRUXA, J. 2005. *Tepelná čerpadla*. Brno: ERA group spol. s.r.o., 1. vydanie, ISBN 80-7366-031-8.
- VARGA, A. – JABLONSKÝ, G. – LUKÁČ, L. – KIZEK, J. 2013. *Tepelná technika pre hutníkov*. Košice: TU v Košiciach, HF, 2013, ISBN-978-80-553-1590-4.
- VDI – *Heat atlas – second edition*. Springer, 2010, ISBN 978-3-540-79999-3.
- VIELSTICH, W. et al. 2009. *Handbook of fuel cells: advances in electrocatalysis, materials, diagnostics and durability*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- WANG, X. – ECONOMIDES, M. 2009. *Advanced natural gas engineering*. 1st edition, Gulf Publishing Company, 2009, ISBN: 9781933762388, eBook ISBN: 9780127999944.
- WANG, Z. – SUN, B. – GAO, Y. 2020. *Natural gas hydrate management in deepwater gas well*. Springer Singapore, 2020, ISBN 978-981-15-6417-8.
- ŽERAVNÍK, A. 2003. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Přerov, 1. vydanie, 2003.
- ŽIDEK, L. 2003. *Biomasa, praktická príručka pre začínajúcich užívateľov biomasy*. Žilina, Regionálna agentúra energet. manažmentu, 2003, ISBN 80-969009-0-0.
- ŽIDEK, L. a kol. 2006. *Vykurovanie drevnými peletami*. Biomasa, združenie právnických osôb, Považská Bystrica: Uniprint, 2006, ISBN 80-969465-8-7.

Iné príspevky:

APALOVÍČ, R. a kol. 1998. *Obnoviteľné zdroje energie – možnosti regiónu*. Banská Bystrica, OLIS, 1998.

ARCHIEXPO, 2022. Dostupné na internete: <https://www.archiexpo.com/prod/windside/product-88530-959470.html/>.

ASB, 2019. Dostupné na internete: <https://www.asb.sk/stavebnictvo/technicke-zariadenia-budov/energie/akumulacia-tepelnej-energie-v-solarnych-systemoch/>.

ASEANENERGY, 2022. Dostupné na internete: <https://aseanenergy.org/wp-content/uploads/2019/08/Renewable-Energy-Power-Pricing-in-Indonesia-e1566976251245-755x250.jpg/>.

ATLASOZE, 2021. Dostupné na internete: www.atlasoze.sk/.

BADUREK, 2017. *Wind turbine technology*. Dostupné na internete: www.britannica.com/technology/wind-turbine/.

BALÁŽIK, 2012. Dostupné na internete: https://is.muni.cz/th/kihk4/resh_balazik.pdf/.

BALL, M. – WIETSCHER, M. 2009. *The future of hydrogen – opportunities and challenges*. In: International journal of hydrogen energy. 2009, roč. 34, č. 2, s. 615–627, ISSN 03603199. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319908015061?via%3Dihub/>.

BARTKO, L. – BADIDA, M. – HORBAJ, P. – KONKOLY, J. 2014. *Využitie geotermálnej energie v podmienkach Slovenska*. Dostupné na internete: <https://www.sjf.tuke.sk/transferinovacie/pages/archiv/transfer/29-2014/pdf/304-311.pdf/>.

BROŠKA, F. 1990. *Prognózy energetiky do roku 2100*. In: EKO – Ekologie a spoločnosť. 41, 1990, s. 6–10.

ČIČMANEC, S. 2004. *Perspektívy využívania zemného plynu v SR*. Dostupné na internete: http://www.enef.eu/history/2004/programme/plenary/17_Cicmanec.pdf/.

DEPOWSKI, S. 1998. *Surowce energetyczne (Rozdział 10)*. Kotliński, Szamałek (red.): Surovce minerálne morské i oceánové. 1998 Warszawa: Scholár, 1998, s. 28–38. Dostupné na internete: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/energeticke_suroviny.html/.

DICKS, A.L. 1996. *Hydrogen generation from natural gas for the fuel cell systems of tomorrow*. In: J. Power Sources. 61, 113–124, 1996.

DÍAZ, 2015. Dostupné na internete: www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052015000300009/.

DLOUHÝ, P. – JANÍK, L. 2007. *Bezpečnosť*. Dostupné na internete: <https://www.hytep.cz/cs/vodik/informace-o-vodiku/bezpecnost/482-bezpecnost/>.

DOUCEK, A. – PROKEŠ, O. – TENKRÁT, D. 2007. *Získání vodíku z obnovitelných zdrojů energie*. In: Chemické zvesti. 61, (1), 2007.

DOUCEK, A. – TENKRÁT, D. – DLOUHÝ, P. 2011. *Vodíkové hospodářství a možnosti využití vodíku k regulaci obnovitelných zdrojů energie*. In: PALIVA. 3, 2011, 1 – 7.

EDA, NA ZÁKLADĚ PRÍRUČKY K NÁSTROJU SHARES, EUROSTAT, 2018. Dostupné na internete: <https://op.europa.eu/webpub/eca/special-reports/wind-solar-power-generation-8-2019/sk/index.html/>.

ELEKTRÁRNE, 2021. Dostupné na internete: http://www.oze.stuba.sk/wp-content/themes/ObnovitelneZdrojeEnergie/elearning/EENERGETIKA/ELEN-3_2.htm#3.2.1.2/.

ELEKTRICKÁ ENERGIA, 2021. *Jadrová elektrárň a princíp jej činnosti*. Dostupné na internete: <https://vyroba-elektrickej-energie5.webnode.sk/jadrova-elektraren-a-princip-jej-cinnosti/>.

ENERGIAVSUVISLOSTIACH, 2021. Dostupné na internete: www.energiavsuvistolostiach.sk/.

ENERGOPORTAL, 2022. Dostupné na internete: www.energoportal.org/obnovitelne-zdroje/energia-z-vetra#vyber-lokality/.

ENERGOPORTAL.ORG, 2022. Dostupné na internete: www.energoportal.org/obnovitelne-zdroje/energia-z-vetra#vyber-lokality/.

ENERGY, 2021. Dostupné na internete: <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/sky-trough-parabolic-solar-collector/>.

ENVIROPORTAL, 2022. Dostupné na internete: www.enviroportal.sk/veterna-energia/.

EUROACTIV, 2022. Dostupné na internete: www.euroactiv.sk/.

FARID, M. – KHUDHAIR, A.M. – RAZAK, S.A.K. – AL-HAJJAR, S. 2004. *A review on phase change energy storage: materials and applications*. 2004, ISSN 0196-8904.

FIALA, V. 1994. *Obnovitelné zdroje energie – Větrné elektrárny*. Praha, FCC public, 1994.

FOLTIN, V. – RAJZINGER, J. 2013. *Natural gas hydrates – challenge and opportunity*. In: Zborník príspevkov z 32. stretnutia katedier mechaniky tekutín a termomechaniky. Žilinská univerzita, 2013, s. 45–48.

FOLTIN, V. – RAJZINGER, J. – JURIGA, M. – GUŽELA, Š. 2013. *Nové zdroje zemného plynu: bridlicový plyn a zemný plyn viazaný v hydrátoch*. In: Zborník prednášok z 21. medzinárodnej konferencie Vykurovanie 2013. Bratislava: SSTP, 2013, s. 73–76.

FUELCELLTODAY, 2019. Dostupné na internete: <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pemfc/>; <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/dmfc/>; <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/sofc/>; <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/afc/>; <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/mcfc/>; <http://www.fuelcelltoday.com/technologies/pafc/>.

GAO, S. 2008. *Investigation of interactions between gas hydrates and several other flow assurance elements*. In: Energy. 2008, 22, 5, s. 3150–3153.

GAŠPAROVSKÝ, D. 1999. *Nekonvenčné zdroje a premeny energie*. Bratislava, Metodické centrum, 1999.

GENITRONSVILUPPO, 2022. Dostupné na internete: <http://www.genitronsviluppo.com/2009/08/03/solare-termico-motori-stirling/>.

GEO THERM, 2021. Dostupné na internete: <https://www.geotherm.sk/solarne-systemy/buderus/logasol-skn-4-0/>.

GEO THERM, 2022. Dostupné na internete: https://www.geotherm.sk/wp-content/uploads/2018/10/tepelne_cerpadlo_princip_pr.gif/.

GÜL, T. – KYPREOS, S. – TURTON, H. – BARRETO, L. 2009. *An energy-economic scenario analysis of alternative fuels for personal transport using the Global Multi-regional MARKAL model (GMM)*. In: Energy. 2009, roč. 34, č. 10, s. 1423-1437, ISSN 03605442. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054409001078?via%3Dihub/>.

HARRISON, E.S. 2010. *Natural gas hydrate*. Dostupné na internete: <http://large.stanford.edu/courses/2010/ph240/harrison1/>.

HLINČÍK, T. – TENKRÁT, D. 2010. *Těžba hydrátu zemního plynu*. In: Plyn. 2010, ročník XC, s. 190.

HORBAJ, P. 1999. *Ekologické aspekty spaľovania*. 1999.

III AŠ, I. – GUSCHLBAUER-HRONEK, K. – BENESCH, B. – BAYER, G. 2006. *Možnosti využívania slnečnej energie*. 2006, ISBN 80-969466-0-9.

INFORSE, 2008. *Geotermálna energia*. Dostupné na internete: <https://www.inforse.org/europe/fae/OEZ/GEOTERM/geoterm.html/>.

INFORSE, 2021. *Vodná energia*. Dostupné na internete: <https://www.inforse.org/europe/fae/DOPRAVA/OEZ/Voda.htm/>.

INFORSE, 2021 a. Dostupné na internete: www.inforse.org/.

INFORSE, 2022. *Slnečná energia*. Dostupné na internete: <https://www.inforse.org/europe/fae/OEZ/slnko/slnko.html/>.

INSTITUTE OF PETROLEUM ENGINEERING, 2016. *Why are gas hydrates important?* Dostupné na internete: http://www.pet.hw.ac.uk/research/hydrate/hydrates_why.cfm?hy=what/.

JADROVÁ ELEKTRÁREŇ, 2022. [online]. Encyclopaedia Beliana, ISBN 978-80-89524-30-3. [cit. 2022-01-11]. Dostupné na internete: <https://beliana.sav.sk/heslo/jadrova-elektarren/>.

JADROVÁ ENERGETICKÁ SPOLOČNOSŤ SLOVENSKA, A.S. 2011. Dostupné na internete: <http://www.jess.sk/sk/home/o-jadrovej-energetike/historia-jadrovej-energetiky-v-sr-a-cr/>.

JAGA GROUP, 2016. *Zemní plyn vázaný v hydrátech jako nový zdroj energie*. Dostupné na internete: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/zemni-plyn-vazany-v-hydratech-jako-no-vy-zdroj-energie/>.

JANDAČKA, J. – MALCHO, M. 2005. *Požiadavky na teplovodné kotle na tuhé palivá tepelného výkonu 300 kW a ich skúšanie*. In: TZB Haustechnik. 4/2005, ISSN 1210-356X.

JANDAČKA, J. – MALCHO, M. 2007. *Rozdelenie zdrojov tepla na spaľovanie biomasy*. Zborník príspevkov „Možnosti lokálneho vykurovania a výroby elektrickej energie z biomasy.“ 22.-23. 5. 2007, Žilina, ISBN 978-80- 969595-2-5.

JELEMENSKÝ, L. et al. 2013. *Energetické využitie rastlinnej biomasy 2 – Termické procesy*. Dostupné na internete: <https://biom.cz/cz/odborneclanky/energeticke-vyuzitie-rastlinnej-biomasy-2-termicke-procesy/>. 2013, ISSN 1801-2655.

JELEMENSKÝ, L. et al. 2015. *Energetické využívanie rastlinnej biomasy – Termické procesy*. Dostupné na internete: <http://www.envirovid.eu/wpcontent/uploads/2015/07/Bio-masa-na-energeticke-C-3-%A9-C3%BA%C4%8Dely.pdf/>.

JEŽÍK, 2011. Dostupné na internete: <https://csve.cz/img/wysiwyg/file/ZÁKAZNÍCI,%20ŠPEKULANTI,%20PODVODNÍCI%20A%20MALÉ%20VETERNÉ%20TURBÍNKY.pdf/>.

JIŘÍČEK, I. – RÁBL, V. 2005. *AZE 04/2005*.

KEKULE, 2021. *Energetické suroviny*. Dostupné na internete: http://kekule.science.upjs.sk/chemia/digitalna_kniznica/assets/data/Fosilne%20zdroje%20energie.pdf/.

KHANDAGALE, 2017. Dostupné na internete: www.pnrsolution.org/Datacenter/Vol-5/Issue3/24.pdf/.

KIMMING, M. et al. 2011. *Biomass from agriculture in small-scale combined heat*. In: Biomass & Bioenergy. 2011, Vol. 35, no. 4. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences, pp. 1572–1581, ISSN 0961-9534.

KOMANDERA, I. 2002. *Spätné získavanie tepla zo spalín pecí v metalurgickom a keramickom priemysle*. Žilina, 2002.

KUZNIK, F. – DAVID, D. – JOHANNES, K. – ROUX, J.J. 2011. *A review on phase change materials integrated in building walls*. 2011, ISSN 1364-0321.

KVENVOLDEN, K.A. – GINSBURG, G.D. – SOLOVIEV, V.A. 1993. *Worldwide distribution of subaquatic gas hydrates*. In: Geo-marine letters. 1993, 13, 1, s. 32–40.

LADOMERSKÝ, J. a kol. 2000. *Energetika a životné prostredie*. TU Zvolen, 2000.

LADOMERSKÝ, J. – DZURENDA, L. – PAJTÍK, J. – LONGAUER, J. 1993. *Spaľovanie dreveného odpadu z ekologického a energetického hľadiska*. Vedecko-pedagogické aktuality, TU Zvolen, 1993.

- LARGE.STANFORD, 2019. Dostupné na internete: <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/lim1/>.
- LINK.SPRINGER, 2022. Dostupné na internete: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-08058-7_2?noAccess=true/.
- LIPTÁKOVA, T. 2011. *Výsledky testov koróznej odolnosti vybraných materiálov exponovaných v peci na výrobu hliníka z odpadu*. Interná správa ŽU.
- LÍŠKA, P. 2001. *Hlavné výsledky bezpečnostných analýz pre JE V1 po rekonštrukcii*.
- LULKOVIČOVÁ, O. 1999. *Moderné technológie spaľovania ušľachtilých palív*. In: TZB Haus Technik. 2, 1999.
- LULKOVIČOVÁ, O. – TAKÁCS, J. 2001. *Netradičné zdroje energie – prednášky*. STU Bratislava, 2001.
- MACKAY, D.J.C. 2013. *Obnoviteľné zdroje energie – s chladnou hlavou*. Slovenská inovačná a energetická agentúra, Bratislava, 2013.
- MADEROVÁ, E. 1997. *Obnoviteľné zdroje energie*. Slovenské elektrárne, 1997.
- MAGNETOHYDRODYNAMIC (MHD) POWER GENERATION. 2005. *Woodbank communicationc ltd. Electropaedia*. Dostupné na internete: http://www.mpoweruk.com/mhd_generator.html/.
- MAKOGON, Y.F. 2010. *Natural gas hydrates – A promising source of energy*. In: Journal of natural gas sciences and engineering. 2010, 2, 1, s. 49–59.
- MALCHO, M. 2008. *Limitujúce faktory prenosu tepla v zariadeniach pre jeho spätné získavanie*. Žilina: Strojnícka fakulta, 2008, s. 37, ISBN 978-80-8070-842-9.
- MALCHO, M. 2011. *Prezentácie z konferencie Energetický audit v praxi – Technologické teplo, využívanie druhotného tepla, príklady z praxe; Možnosti spätného získavanie tepla z technologických procesov*. Dostupné na internete: <https://www.siea.sk/>.
- MALCHO, M. 2014a. *Prenos tepla a hmoty: výber z prednášok*.
- MALCHO, M. a kol. 2010a. *Systém výmenníkov tepla pre využitie tepla spalín z taviaceho agregátu*. Technická správa ku konštrukčnej dokumentácii – strojná časť.
- MALCHO, M. a kol. 2010b. *Vyhodnotenie spôsobu využitia tepla spalín z taviaceho agregátu zariadením na spätné získavanie tepla*. Interná správa ŽU.
- MALCHO, M. a kol. 2014b. *Využitie odpadového tepla z komorovej pece č. 2 na výpal keramických izolátorov, pre potreby technológií a vykurovania*. Štúdia realizovateľnosti, ŽU.
- MALCHO, M. a kol. 2015. *Oprava a úprava klobúka EOP 23 na využitie odpadového tepla*. Interná správa ŽU.

- MALCHO, M. – JANDAČKA, J. 2004. *Energetická efektívnosť v praxi – Spätne získavanie tepla z technologických procesov*. Dostupné na internete: http://www.enef.eu/history/2004/programme/3_session/slovak.html/.
- MALCHO, M. – JANDAČKA, J. – KAPUSTA, J. – SMATANOVÁ, H. 2000. *Návrh systému spätneho získavania tepla zo spalín ohrievacích pecí Junker*. Žilina, 2000.
- MANWELL, M.F – MCGOWAN, J.G – ROGERS, A.L. 2009. *Wind energy explained: theory, design and Application*. Second Edition, 2. Wiley, 2009, ISBN 978-0-470- 01500-1.
- MARTVOŇOVÁ, L. 2018. *Návrh nekonvenčnej viacsmerovej vertikálnej veternej turbíny*. Bakalárska práca, Žilinská univerzita v Žiline, 2018.
- MIKEŠ, J. – SIGLOVÁ, M. – ZÁBRANSKA, D. 2011. *Biologická eliminace sulfidů z bioplynu*. In: Odpadové fórum. 2011, 2011-04-13, 4 s.
- MŽP SR, 2021. *Vodná energia*. Dostupné na internete: <https://www.minzp.sk/klima/obnovitelne-zdroje-energie/vodna-energia/>.
- NATIONALGEOGRAPHIC, 2022. Dostupné na internete: <https://www.nationalgeographic.com/science/article/120820-helix-wind-collapse/>.
- NÁRODNÝ AKČNÝ PLÁN PRE OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE, 2010. Dostupné na internete: <https://www.mhsr.sk/uploads/files/krFyTZfZ.pdf/>.
- NEWS.CISION, 2022. Dostupné na internete: <https://news.cision.com/siemens-process-industries-and-drives/i/4navitas-vawt-3,c1692321/>.
- NVAS, 2019. *Základné informácie o vodíku*. Dostupné na internete: <https://nvas.sk/sk/vsetko-o-vodiku/>.
- OBERNBERGER, I. et al. 1997. *Concentrations of inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions*. In: Biomass & Bioenergy. 1997, Vol. 12, no. 3. Graz: Institute of Chemical Engineering, pp. 221–224, ISSN 0961-9534.
- OENERGETICE, 2022. Dostupné na internete: www.oenergetice.cz/.
- OPLYNE.INFO, 2022. *Palivové články*. Dostupné na internete: <https://www.oplyne.info/oblast/vyroba-elektrickej-energie/zakladne-informacie-o-vyrobe-elektrickej-energie/palivove-clanky2/>.
- OSTRÝ, M. 2012. *Akumulace tepla při změnách skupenství*.
- OZE, STUBA, 2022. Dostupné na internete: <http://www.oze.stuba.sk/oze/veterna-energia/>.
- OZNÁMENIE KOMISIE, 2005. *Akčný plán o biomase*. Brusel, 07.12.2005, KOM (2005) 628 konečné znenie.
- PDF.TRUNI.SK, 2021. *Hydrologický cyklus*. Dostupné na internete: <https://pdf.truni.sk/eucebnice/chzp/data/ef02f6c0-8cbc-4762-adda-6ba3ff078aca.html?ownapi=1/>.
- PERINA, F. 1987. *Jaderná energetika a životní prostředí*. Praha ČEZ, 1987.

- PLATFORMA, 2022. Dostupné na internete: www.platforma.ekofond.sk/.
- PLÍŠEK, P. 2015. *Výroba chladu*. Dostupné na internete: <http://www.gbenergy.eu/gb/vyroba-chladu.html/>.
- RAGHEB, M. – RAGHEB, A.M. 2011. *Wind turbines theory – the betz equation and optimal rotor tip speed ratio*. Fundamental and advanced topics in wind power, 2011.
- RESEARCHGATE, 2022. Dostupné na internete: https://www.researchgate.net/figure/Quie-t-Revolution-twisted-Darrieus-wind-turbine_fig1_252509085/.
- RUPPEL, C. – NOSERALE, D. 2012. *Gas hydrates and climate warming-why a methane catastrophe is unlikely*. Dostupné na internete: <http://soundwaves.usgs.gov/2012/06/Gas-HydrF2des-LG.jpg/>.
- SCIENCEDIRECT, 2022. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/vertical-axis-wind-turbine/>.
- SIEA, 2020. *Energia z fosílnych palív*. Dostupné na internete: <https://www.siea.sk/bezplatne-poradenstvo/kamaratka-energia/nauc-sa/energia-a-jej-druhy/energia-z-fosilnych-paliv/>.
- SIEA, 2020. *Jadrová energia*. Dostupné na internete: <https://www.siea.sk/bezplatne-poradenstvo/kamaratka-energia/nauc-sa/energia-a-jej-druhy/jadrova-energia/>.
- SIZO, 2021. *Energia*. Dostupné na internete: http://sizo.adlerka.sk/?f=0&s=1&k=3_zdroje_energie&pk=1/.
- SLIDEPLAYER, 2022. Dostupné na internete: <https://slideplayer.cz/slide/14904745/>.
- SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE, 2021. Dostupné na internete: <https://obstaravanie.seas.sk/pve-cierny-vah/>.
- SLOVENSKÉ ELEKTRÁRNE, 2022. *Atómová elektrárň*. Dostupné na internete: <https://obstaravanie.seas.sk/atomova-jadrova-elektraren/>.
- SLPK, 2020. *Solárne termálne systémy na výrobu elektrickej energie*. Dostupné na internete: <http://www.slpk.sk/misc/2020/solar-systems/docs/kapitola4.pdf/>.
- SLPK2, 2020. *Solárne kolektorové systémy*. Dostupné na internete: <http://www.slpk.sk/misc/2020/solar-systems/docs/kapitola2.pdf/>.
- SLPK3, 2020. *Spektrum slnečného žiarenia*. Dostupné na internete: <http://www.slpk.sk/misc/2020/solar-systems/docs/kapitola1-3.pdf/>.
- SLPK5, 2020. *Fotovoltaika*. Dostupné na internete: <http://www.slpk.sk/misc/2020/solar-systems/docs/kapitola5.pdf/>.
- SOLARNEPANELYDOMOV, 2021. Dostupné na internete: <https://solarnepanelydomov.sk/produkt/solarny-kolektor-10-trubicovy/>.
- SPP, 2022. *Ťažba zemného plynu*. Dostupné na internete: <https://www.spp.sk/sk/velkizakaznici/zemny-plyn/o-zemnom-plyne/zakladne-informacie/tazba-zemneho-plynu/>.

- STUDÝNKA, 2012. *Vodík: Zasobárna energie pre budúcnosť*. Bachelors thesis, 2012.
- SUNWINDENERGY, 2021. Dostupné na internete: <https://www.sunwindenergy.com/news/new-parabolic-trough-collector-3m-and-gossamer/>.
- SVETENERGIE, 2021. Dostupné na internete: www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/vetrne-elektrarny-podrobne/vertikalni-darrieova-turbina/yklad/.
- ŠENITKOVÁ, I. – EŠTOKOVÁ, A. 2002. *Zdroje energie a environmentálna záťaž*. In: Acta Montanistica Slovaca. Ročník 7, 2002, 4, s. 257–260.
- ŠÍPAL, 2013. *Obnoviteľné zdroje energie a spôsoby získavania elektrickej a tepelnej energie z obnoviteľných zdrojů*. 2013.
- TAKÁCS, J. 2002. *Prehľad využívania geotermálnej energie v SR a perspektívy jej využívania*. In: TZB Haus Technik. 1, 2002, s. 29–32.
- TALUKDAR, 2019. *Methane hydrate discovered in K-G basin off andhra coast*. Dostupné na internete: <https://www.newsclick.in/methane-hydrate-discovered-k-g-basin-andhra-coast/>.
- TOPPR, 2007. *Geothermal energy*. Dostupné na internete: <https://www.toppr.com/guides/physics/sources-of-energy/geothermal-energy/>.
- VAGASKÝ, V. 2005. *Je Slovensko vhodnou krajinou na využívanie energie z vetra?* Enviromagazín 4/2005.
- VOLUMATRIXGROUP, 2022. Dostupné na internete: <https://volumatrixgroup.com/?p=5526/>.
- WHATISCHEMISTRY, 2020. *Hydrates (or clathrates) of hydrocarbons*. Dostupné na internete: <http://www.whatischemistry.unina.it/en/hydrate.html/>.
- WORLDOCEANREVIEW, 2010. Dostupné na internete: <https://worldoceanreview.com/en/wor-1/energy/methane-hydrates/>.
- ŽIDEK, L. – BOHUNICKÁ, D. 2007. *Drevné pelety - pohodlný zdroj energie - výroba a využívanie*. Zborník príspevkov „Možnosti lokálneho vykurovania a výroby elektrickej energie z biomasy.“ 22.-23. 5. 2007, Žilina, ISBN 978-80- 969595-2-5.

Internetové odkazy:

<https://www.archiexpo.com/>

<https://www.asb.sk/>

<http://www.asb-portal.cz/>

<https://aseanenergy.org/>

<https://www.atlasoze.sk/>

<https://www.atpjournal.sk/>
<https://beliana.sav.sk/>
<https://biom.cz/>
<http://www.biomasa-info.cz/>
<http://www.biomasa-info.sk/>
<https://www.britannica.com/>
<https://www.caradice.sk/>
<http://casopisenergetika.cz/>
<http://www.clarke-energy.co.uk/>
<https://csve.cz/>
<https://www.elsevier.com/>
<http://www.enef.eu/>
<https://www.energiavsuvistostiach.sk/>
<https://www.energie-portal.sk/>
<https://www.energportal.org/>
<https://www.energy.gov/>
<https://www.engineering.sk/>
<https://www.enviroportal.sk/>
<http://www.envirovid.eu/>
<https://www.euroactiv.sk/>
<http://www.fuelcelltoday.com/>
<http://www.gbenergy.eu/>
<http://www.genitronsviluppo.com/>
<http://geologie.vsb.cz/>
<https://www.geotherm.sk/>
<https://www.hrdoasrdcom.sk/>
<http://www.hydrogenics.com/>
<https://www.hytep.cz/>
<http://www.idbjournal.sk/>

<https://www.inforse.org/>
<https://is.muni.cz/>
<https://www.jaga.sk/casopisy/>
<http://www.jess.sk/>
<http://kekule.science.upjs.sk/>
<http://large.stanford.edu/>
<https://link.springer.com/>
<https://www.mhsr.sk/>
<https://www.minzp.sk/>
<http://www.mpoweruk.com/>
<http://www.mve.energetika.cz/>
<https://www.nationalgeographic.com/>
<https://www.newsclick.in/>
<https://nvas.sk/>
<https://obstaravanie.seas.sk/>
<https://op.europa.eu/>
<https://www.oplyne.info/>
<http://www.oze.stuba.sk/>
<https://pdf.truni.sk/>
<http://www.pet.hw.ac.uk/>
<https://www.platforma.ekofond.sk/>
<http://www.pnrsolution.org/>
<https://www.researchgate.net/>
<http://www.scielo.cl/>
<https://www.sciencedirect.com/>
<https://www.scopus.com/>
<https://www.seas.sk/>
<https://www.siea.sk/>
<http://sizo.adlerka.sk/>
<https://www.sjf.tuke.sk/>

<http://www.slideplayer.com/>
<https://www.slideshare.net/>
<http://www.slpk.sk/>
<https://solarnepanelydomov.sk/>
<http://soundwaves.usgs.gov/>
<https://www.spp.sk/>
<http://www.springer.com/>
<https://www.sunwindenergy.com/>
<http://www.svetenergie.cz/>
<https://www.techcon.sk/>
<https://www.techcon.sk/techcon-magazin/>
<https://www.toppr.com/>
<http://www.tzb-info.cz/>
<http://www.tzbportal.sk/>
<https://volumatrixgroup.com/>
<https://www.vut.cz/>
<https://www.vutbr.cz/>
<https://vyroba-elektrickej-energie5.webnode.sk/>
<https://www.webofknowledge.com/>
<http://www.whatischemistry.unina.it/>
<https://worldoceanreview.com/>

Ing. Katarína Kaduchová, PhD.

doc. Ing. Richard Lenhard, PhD.

Ing. Patrik Nemec, PhD.

PREMENY ENERGIE V ENERGETIKE

Náklad: 50 výtlačkov, vydanie prvé

242 strán, 156 obrázkov, 31 tabuliek, 12 AH

Návrh obálky: doc. Ing. Richard Lenhard, PhD.; Ing. Katarína Kaduchová, PhD.

Vydavateľstvo a tlač: Cofin, a.s.

Nepredajné

ISBN 978-80-973466-8-3

Za obsah skriptum zodpovedajú autori.

Informácie nie sú oficiálnym stanoviskom Európskej únie ani ďalších donorov.

Skriptum a jej časti môžu byť reprodukované len so súhlasom autorov.