



METODY HODNOCENÍ VHODNOSTI A VÝTĚŽNOSTI OZE

EKOWATT

Obsah

OBSAH	2
1. IDENTIFIKACE STUDIE	5
2. ÚVOD	6
2.1. Energetické plánování OZE v evropském kontextu	6
2.2. Shrnutí	6
3. ZÁKLADNÍ POJMY A DEFINICE	8
3.1. Potenciály OZE	8
3.1.1. Příklady účelově zavedených definicí potenciálu	9
3.2. Výkony OZE	10
3.3. Zásady tvorby energetických bilancí a její druhové členění	11
3.4. Obecné zásady územní energetické koncepce	12
3.4.1. Hlavní zásady ÚEK	12
3.5. Zpracování energetické bilance v rámci ÚEK a role OZE v energetické bilanci	12
3.6. Sběr dat o současném stavu využití OZE v rámci ÚEK	16
4. ENERGIE SLUNCE	17
4.1. Možnosti využití	17
4.1.1. Fotoelektrina [37]	17
4.1.1.1. Fotoelektrické články, princip zařízení	17
4.1.1.2. Fotoelektrické panely	17
4.1.1.3. Využití elektrické energie ze Slunce	18
4.1.2. Fototermální přeměna	19
4.1.2.1. Typy slunečních kolektorů	19
4.1.2.2. Solární systém	19
4.1.2.3. Zásady pro dispoziční uspořádání technologického zařízení TUV	20
4.2. Metodické postupy posuzování potenciálů	23
4.2.1. Intenzita slunečního záření	23
4.2.2. Úhrn slunečního záření bez vlivu atmosféry	26
4.2.3. Průchod slunečního záření atmosférou	27
4.2.4. Globální sluneční záření a albedo zemského povrchu	31
4.2.5. Úhrny přímého, rozptýleného a globálního slunečního záření	32
4.2.6. Výkon a účinnost slunečního kolektoru	35
4.3. Sběr dat v rámci ÚEK	36
4.3.1. Radiační databáze ČHMÚ	36
4.3.1.1. Rozdělení ČR podle možnosti využití solární energie	39
4.3.2. Zdroje dat pro odhad současného využití	40
4.3.3. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu	41
4.4. Metodické postupy pro účely ÚEK	41
4.4.1. Kritéria pro výběr vhodných lokalit	41
4.4.2. Metody odhadu fotoelektrické přeměny sluneční energie	42
4.4.3. Metody odhadu fototermální přeměny sluneční energie	43
4.4.3.1. Výchozí předpoklady	43
4.4.4. Metoda odhadu vycházející ze znalosti druhu vytápění	43
4.4.5. Metoda odhadu vycházející z počtu budov	44
5. ENERGIE VĚTRU	45
5.1. Možnosti využití	45
5.1.1. Typy větrných motorů	45

5.2. Metodické postupy posuzování potenciálů	47
5.2.1. Statistické veličiny větru	47
5.2.2. Měření rychlosti a směru větru [14], [55]	48
5.2.2.1. Měření v synoptických termínech	48
5.2.2.2. Měření v synoptických klimatologických termínech	48
5.2.2.3. Měření anemografy	49
5.2.3. Rychlostní profil větru a vliv drsnosti povrchu	49
5.2.3.1. Topografie a orografie	50
5.2.3.2. Turbulence a výškový gradient rychlosti	50
5.2.4. Distribuční charakteristika (funkce) četnosti rychlostí větru	52
5.2.5. Výkon a energie větru	53
5.2.6. Výkon, účinnost a výroba větrného motoru	54
5.2.7. Výpočet a odhad roční produkce elektřiny	55
5.2.8. Námrazky	58
5.3. Sběr dat v rámci ÚEK	59
5.3.1. Program VAS	59
5.3.2. Zdroje dat pro odhad současného využití	60
5.3.3. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu	61
5.4. Metodické postupy pro účely ÚEK	63
5.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit	63
5.4.2. Volba vhodné technologie využitelné v lokalitě	64
5.4.3. Výpočet potenciálu větrné energie	64
6. ENERGIE BIOMASY	65
6.1. Možnosti využití	65
6.2. Metodické postupy posuzování potenciálů [33], [57], [58]	66
6.2.1. Přímé spalování a zplyňování	66
6.2.1.1. Spalné teplo a výhřevnost biomasy	66
6.2.1.2. Vlhkost biomasy	67
6.2.1.3. Vliv vlhkosti na výhřevnost biomasy	68
6.2.1.4. Dřevo	68
6.2.1.5. Sláma obilovin a olejnin	70
6.2.1.6. Spalitelný pevný domovní odpad	70
6.2.2. Bio-chemická přeměna	71
6.2.2.1. Bioetanol	71
6.2.2.2. Bioplyn	72
6.2.2.3. Skládkový plyn	75
6.2.3. Mechanicko-chemická přeměna	75
6.2.3.1. Bionafta	75
6.3. Sběr dat v rámci ÚEK	76
6.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití	76
6.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu	77
6.4. Metodické postupy pro účely ÚEK	77
6.4.1. Pěstování biomasy pro energetické účely	79
6.4.1.1. Produkční podmínky zájmového území	80
6.4.1.2. Rychle rostoucí dřeviny (RRD)	80
6.4.2. Pěstování jednoletých a víceletých plodin pro energetické využití	81
6.4.2.1. Křídlatka sachalinská	82
6.4.2.2. Miscanthus sinensis	82
6.4.2.3. Konopí seté	83
6.4.2.4. Řepka olejná	84
6.4.3. Přehled výhřevností paliv a účinností	85
7. ENERGIE VODY	89

7.1. Možnosti využití	89
7.1.1. Přeměna energie	89
7.1.2. Základní komponenty vodního díla a jejich členění	89
7.2. Metodické postupy posuzování potenciálů	91
7.2.1. Spád	93
7.2.2. Průtok	94
7.2.3. Hodnocení lokality	97
7.2.4. Účinnost	97
7.3. Sběr dat v rámci ÚEK	98
7.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití	98
7.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu	99
7.4. Metodické postupy pro účely ÚEK	99
7.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit	99
7.4.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě	99
8. ENERGIE PROSTŘEDÍ A GEOTERMÁLNÍ ENERGIE	100
8.1. Možnosti využití	100
8.1.1. Možnosti získávání tepla	100
8.1.2. Přehled systémů	102
8.2. Metodické postupy posuzování potenciálů	102
8.2.1. Kompresorová tepelná čerpadla	102
8.2.1.1. Topný faktor	103
8.2.1.2. Použitelnost a využitelnost zařízení	104
8.2.2. Absorpční tepelná čerpadla	104
8.2.2.1. Topný faktor	105
8.2.2.2. Použitelnost a využitelnost zařízení	105
8.2.3. Ekologie provozu	105
8.3. Sběr dat v rámci ÚEK	105
8.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití	105
8.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu	106
8.4. Metodické postupy pro účely ÚEK	111
8.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit	111
8.4.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě	111
8.4.3. Metodika výpočtu potenciálu	111
9. PŘÍPADOVÉ STUDIE	113
9.1. Energetický územní koncept hlavního města Prahy [10]	113
9.1.1. Využití energie Slunce	113
9.1.1.1. Odhad vycházející z počtu budov v Praze	113
9.1.1.2. Odhad vycházející ze znalosti druhu vytápění	114
9.2. Energetický dokument obce Boží Dar	114
9.2.1. Využití solární energie	114
9.2.2. Využití větrné energie	115
9.2.2.1. Klimatické podmínky	115
9.2.2.2. Výpočet potenciálu využití energie větru	117
9.2.2.3. Shrnutí	120
9.3. Energetický koncept regionu Karlovarsko	120
9.3.1. Využití energie vody	120
9.3.1.1. Vhodnost přírodních podmínek pro využití v lokalitě	120
9.3.1.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě	120
9.3.1.3. Vytipování vhodných projektů v lokalitě	121
9.3.2. Využití geotermální energie	122

9.3.2.1. Vhodnost přírodních podmínek pro využití v lokalitě	122
9.3.2.2. Použitá metodika	122
9.3.2.3. Vytipování vhodných projektů v lokalitě	123
Celkové zhodnocení potenciálu obnovitelných zdrojů energie v regionu	123
10. KONTAKTY NA ZDROJE INFORMACÍ	124
Použitá literatura	125
Seznam tabulek	128
Seznam obrázků	130

Použité zkratky:

AER	Alternative Energy Requirement (obdoba NFFO pro Irsko)
ATČ	tepelné čerpadlo
BPEJ	bonitovaná půdně ekologická jednotka
CZT	centrální zásobování teplem
ČEA	Česká energetická agentura
ČEZ, a. s.	České energetické závody
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
GMT	Greenwich Mean Time - Greenwičský čas, čas vztažený k poledníku procházejícímu hvězdárnou v angl. městě Greenwich
EK	elektrokotel
EU	Evropská Unie
HEP	hydroenergetický potenciál
IEA	International Energy Agency - Mezinárodní energetická agentura
KTČ	Kompresorová tepelná čerpadla
MVE	malé vodní elektrárny
NFFO	Non Fossil Fuel Obligation
OZE	obnovitelné zdroje energie
RED	regionální energetický dokument, podle zákona o hosp. s energií se RED nazývá územní energetická koncepce, proto byla v následujícím textu tato terminologie sjednocena se zákonem
SEČ	středoevropský čas
SELČ	středoevropský letní čas
SRO	Scottish Renewable Order (obdoba NFFO pro Skotsko)
TUV	teplá užitková voda
TKO	tuhý komunální odpad
TČ	tepelné čerpadlo
ÚEK	územní energetická koncepce
ÚT	ústřední vytápění
VE	větrné elektrárny
VVE	velké vodní elektrárny
WEC	World Energy Council - Světová energetická rada

1. Identifikace studie

Předmět, výtah, abstrakt:	Základní definice potenciálů, rozbor evropského kontextu, charakteristiky a vlastnosti OZE, základní metody hodnocení vhodnosti a výtěžnosti OZE a následující příklady hodnocení v této studii dávají rozsáhlý přehled o studovaném oboru. Publikace se podrobně zabývá jednotlivými metodami hodnocení každého OZE v několika stupních přesnosti odhadu a formuluje hlavní zásady pro plánování a hospodaření energií při využívání OZE.
Účel zpracování a zadání:	Zpracování jednotlivých metod hodnocení vhodnosti a výtěžnosti OZE pro účely energetických bilancí a energetické statistiky a pro účely regionálního územního plánování, např. územních energetických konceptů. Cílem práce je ucelená metodika hodnocení pro jednotlivé OZE a pro různé stupně a potřeby využití.

2. Úvod

Energie je termín, který nás v současnosti provází na každém kroku, zejména pak v posledních dvou stoletích. Lidstvo během této krátké doby prodělalo velmi rychlý vývoj díky ohromnému množství energie, kterou dokázalo uvolnit a využít v podobě fosilních a jaderných paliv. Energie je však především termínem budoucnosti, neboť právě budoucnost ukáže, jak si lidstvo dovede poradit se vzrůstající energetickou spotřebou. Využívání fosilních a jaderných paliv je spojeno s ekologickými problémy (skleníkový efekt, radioaktivní zamoření), které se spolu s vyčerpáním těchto přírodních zdrojů jeví jako globální energetický a ekologický problém lidstva.

2.1. Energetické plánování OZE v evropském kontextu

Plánování a hospodaření s energií se zaměřením na decentralizované zdroje energie a při využívání OZE odpovídá zásadám **udržitelného rozvoje**, tj. uspokojení současných potřeb bez ohrožení schopnosti uspokojit potřeby budoucích generací. „Energetické technologie: udržitelný rozvoj světa v příštím tisíciletí“ bylo motto 17. kongresu Světové energetické rady (WEC), který se konal v roce 1998 v texaském Houstonu a který se zaměřil na úlohu tradičních i nových technologií v řešení energetických, ekologických a sociálních problémů lidstva.

Hodnocení současného i potenciálního podílu OZE na primární spotřebě energie má smysl hned z několika hledisek - jednak z hlediska souladu s energetickou politikou a Státní politikou životního prostředí, které stanovují cílové podíly OZE v roce 2010 a dále s ohledem na připravovaný vstup ČR do Evropské Unie. V rámci dokumentu "Bílá kniha - obnovitelné zdroje energie" se země EU zavázaly zvýšit podíl OZE na 12% v roce 2010. V rámci akčního plánu, jehož cílem je iniciovat splnění tohoto cíle (Campaign for take-off) je rovněž věnována pozornost komunitám (velikosti od urbanistických celků až po celé regiony) 100% zásobovaným energií z místních OZE. Ačkoli jich v ČR pravděpodobně nebude mnoho, je i takovéto lokality u nás možno nalézt. Na integraci OZE do energetického zásobování takovýchto lokalit je možno získat podporu z prostředků EU například v rámci programu ALTENER II.

OZE mohou začít soutěžit s tradičními zdroji energií jedinou možnou cestou, která nezbytně spočívá v **internalizaci veškerých nákladů na výrobu energie**, tak aby cena energie odrážela i znečištění životního prostředí a environmentálních náhrady. Tak je možno nastavit **systémové nástroje**, které jsou pro plánování vhodného využití energetických zdrojů a zavádění OZE do praxe nejdůležitější. Do té doby bude zvýhodněná a dotační podpora OZE zřejmě nevyhnutelná. Samotná **internalizace externalit** však podle nových poznatků nemusí vést k jednoznačnému zvýhodnění OZE před klasickými zdroji energií.

2.2. Shrnutí

Energetická bilance je základním nástrojem analýzy energetické hospodárnosti provozovatelů energetických systémů, auditorů, konzultantů a projektantů energetických systémů, ale i nástrojem energetické statistiky pro energetické plánování na úrovni státu, regionů a jednotlivých lokalit.

OZE ze své podstaty vyžadují specifický přístup ke každému zdroji s ohledem na jeho charakteristiku. Při hodnocení vhodnosti a výtěžnosti obnovitelných zdrojů energie lze, podobně jako u hodnocení jiných případů energetických zařízení, používat v zásadě tři stupně přesnosti odhadu:

- velmi přibližné hodnocení, formou odborného odhadu
- přibližné hodnocení, formou výpočtu
- přesné hodnocení, formou dlouhodobých měření a následných výpočtů

Práce se podrobně zabývá jednotlivými metodami hodnocení každého OZE v několika stupních přesnosti odhadu a formuluje hlavní zásady pro plánování a hospodaření energií při využívání

OZE. Cílem je ucelená metodika hodnocení pro jednotlivé OZE a pro různé stupně a potřeby využití.

Studie se zabývá zejména hodnocením a definicemi potenciálů OZE a následnými možnostmi technického využití. Pro účely ÚEK je postačující hodnocení potenciálů OZE na úrovni potenciálu **dostupného**, případně **využitelného** viz kapitola 3.1., proto je ekonomická stránka věci v této publikaci poněkud potlačena.

Pro praktické aplikace však nelze tuto stránku opominout a je nutné respektovat ekonomickou efektivitu dodávky energie z daného zdroje. V jednotlivých konkrétních případech je potom nutné provést propočty ekonomické efektivnosti jednotlivých možných variant, neboť je nutné respektovat fakt, že implementaci budou zpravidla realizovat soukromé subjekty, pro které je rozhodujícím kritériem ekonomická efektivnost. Příkladem možného praktického postupu může být následující schéma.

Postup při plánování investic v energetice:

- **Územní plán** je základním dokumentem místní samosprávy, který stanovuje zásady organizace území: Funkční využití, dopravní řešení, infrastrukturu.
- **Energetická územní koncepce** (generel, dokument) respektuje územní plán, rozpracovává energetické záměry pro koordinaci spotřeby energetických médií tak, aby byl v souladu s komplexním rozvojem území a státní energetickou a ekologickou politikou.
- **Studie proveditelnosti** optimalizuje technické, finanční, organizační a majetkové řešení realizace a následné provozování projektu. Součástí studie proveditelnosti by měl být **energetický audit**, což je analýza energetických toků pro posouzení energetických úspor ve sledovaném systému.
- **Technická realizace**
- **Financování projektu**
- **Organizační a majetkové uspořádání**
- **Zadávání veřejných zakázek**

Jako vhodné ekonomické kritérium se jeví například tzv. „**minimální cena tepla (elektřiny)**“ z pohledu investora. Jedná se o takové ceny energie (tepla, elektřiny), které by musel investor inkasovat (ušetřit) vzhledem k vyrobenému množství energie (při respektování diagramu a charakteru dodávek).

3. Základní pojmy a definice

- Obnovitelné zdroje energie

Pokusme se nejprve vymezit termín obnovitelné zdroje energie. Na rozdíl od fosilních a uranových paliv jsou obnovitelné zdroje "nevyčerpatelné", protože jejich životnost je srovnatelná s délkou života lidské civilizace.

ZDROJ	VYUŽITELNÁ FORMA ENERGIE
Radioaktivní rozpad uvnitř Země	Geotermální energie
Pohyb kosmických těles Slunce, Měsíce a planet	Slapová energie (energie přílivu a odlivu)
Záření kosmického prostoru	Sluneční záření Energie vodních toků Energie ledovců Větrná energie Energie mořských vln Sluneční teplo (atmosféra, hydrosféra, litosféra) Energie živé hmoty (biochemická energie)

tabulka 1: Základní členění obnovitelných zdrojů energie.

3.1. Potenciály OZE

Údaje o potenciálech jednotlivých obnovitelných zdrojů energie na určitém území slouží k celkové informaci o možnostech využití jejich energie.

Ačkoliv je v energetice vytvořeno pevné názvosloví, v oblasti OZE existují různé nesrovnalosti, zkreslení a paralelní definice. Následující text shrnuje různé přístupy a zároveň definuje pojmy použité ve studii.

- **Teoretický potenciál**

Množství energie obnovitelného zdroje, které je určeno na základě fyzikálních vztahů, bez respektování vlivu omezujících okrajových podmínek. Např. u větrné energie bývá udáván odhad z části dopadající sluneční energie, která se spotřebuje na uvedení atmosférických hmot do pohybu.

- **Technický potenciál (někdy je uváděn také jako teoretický potenciál)**

Reprezentuje množství energie, které je možno z obnovitelného zdroje získat technickými prostředky, které jsou k dispozici. Jedná se o teoretický potenciál omezený přítomností zdroje a technickými podmínkami jeho přeměny na využitelnou elektrickou nebo tepelnou energii. Stanovený technický potenciál nemá praktické využití, ale bývá mezistupněm pro stanovení dostupného potenciálu. Např. u větrné energie se jedná o lokality s vyšší průměrnou roční rychlostí než 5 m/s, která je pro většinu turbín prahová.

*Pozn.: Např. v případě využití energie Slunce se jako **teoretický** (v podstatě se však jedná o **technický**) energetický potenciál v literatuře [11] uvažuje plocha sídel, tedy „zastavěná“ plocha ve statistických přehledech. Takto definovaný potenciál však samozřejmě není celý k dispozici pro využití slunečními kolektory. Pro instalace slunečních kolektorů jsou vhodné jenom některé střechy budov nebo jejich části, které jsou vhodně orientované směrem ke slunečním paprskům, tak aby nezbyvala k využití pouze složka rozptýleného záření.*

- **Dostupný potenciál (technicky realizovatelný potenciál nebo dosažitelný potenciál)**

Je tou částí technického potenciálu, kterou je možno využít za předpokladu působení administrativních, environmentálních, legislativních, technických či dalších jiných omezení.

- **Využitelný potenciál (realizovatelný potenciál)**

V celkovém kontextu se jedná spíše o doplňující definici. Jedná se o část dostupného potenciálu omezenou využitím přírodního zdroje pro jiné účely než energetické (např. omezení možnosti pěstování energetických plodin využitím zemědělské půdy pro potravinářské účely apod.).

- **Ekonomický (reálně využitelný potenciál či komerční potenciál)**

„Podmnožina“ využitelného potenciálu, kterou je možno využít ve stávající ekonomické situaci ve společnosti a při jejím předpokládaném vývoji ve stanoveném období. Za omezující podmínky se obvykle uvažují ekonomické, fiskální a legislativní podmínky, energetická politika státu, investiční a provozní náklady, dostupnost zařízení. Ekonomický potenciál se obvykle udává ve formě tzv. **nákladových křivek**, což je závislost velikosti využitelného potenciálu na ceně produkované energie.

- **Instalovaný potenciál (současné využití)**

Instalovaný potenciál je výrobní kapacita stávajících instalovaných zařízení, která pracují pravidelně v průběhu roku a jsou komerčně využívána. Nejedná se o zařízení odstavená nebo demontovaná.

Výše uvedené definice nejsou příliš jednoznačné jsou však určeny pro obecnou představu a podle jednotlivých autorů a druhů OZE se pochopitelně liší. Odchytky a specifika jsou diskutovány jednotlivě u každého druhu OZE. Z výše uvedených důvodů lze doporučit zavedení definice před každým odhadem, podle které je odhad prováděn.

3.1.1. Příklady účelově zavedených definicí potenciálu

V případě, že u OZE nejsou hodnoceny jejich mimoekonomické efekty, jsou jako příklad zajímavé následující definice potenciálu energetických úspor z Národní studie energetické efektivity [28], které je možné (eventuelně modifikované) použít i pro OZE.

- *Ekonomický potenciál* - to je ta část technického potenciálu, který má čistý ekonomický přínos z národohospodářského hlediska. Znamená to, že opatření (instalace OZE) je návratné alespoň za dobu životnosti, tzn. že celkové výnosy za dobu životnosti jsou vyšší než náklady (včetně odpisů, úroků, provozních nákladů apod.). Pro výpočet ekonomického potenciálu byla v této studii použita anuitní metoda. Výnosy investic jsou propočteny za dobu životnosti jednotlivých opatření a je použita nižší hodnota diskontní sazby (5 % nebo 10 %). Takto vypočtený potenciál představuje velikost potenciálu z národohospodářského hlediska a za podmínky neexistence bariér pro realizaci.
- *Tržní potenciál* - je ta část ekonomického potenciálu, která je ekonomicky efektivní z mikroekonomického (investorského) hlediska. Tento potenciál je obecně nižší než ekonomický potenciál, protože jednotliví investoři zpravidla používají přísnější kritéria než vláda, zejména jako důsledek různého chápání investičních rizik a očekávaných výnosů z investic. V rámci této studie byl tržní potenciál stanoven na základě propočtu prosté doby návratnosti investic pro dvě úrovně prosté doby návratnosti, a to 3 a 6 let odrážející odlišné chování různých investorů a velikosti investic.

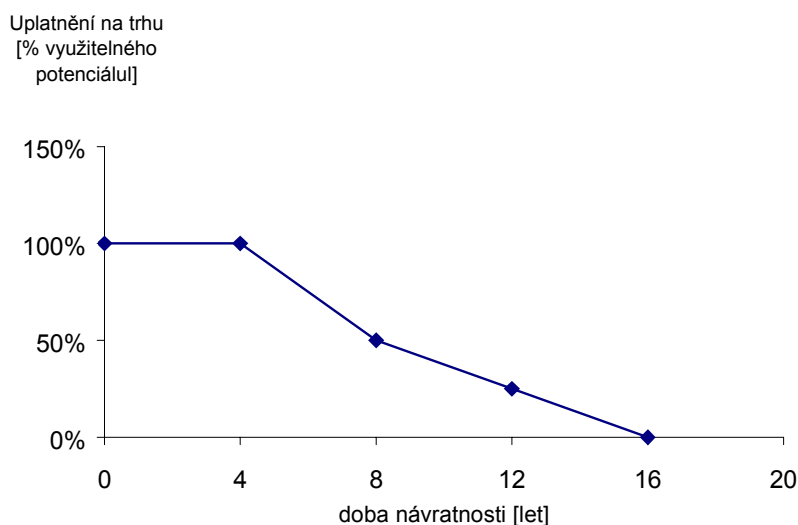
V části hodnocení OZE ve výše zmíněné studii je pro OZE použita jiná definice ekonomického potenciálu s cílem vzít v úvahu i mimoekonomické efekty OZE. Tato definice se jeví jako poněkud kostrbatá, nicméně pro úplnost a příklad je zajímavá:

- Pro OZE není vždy možno v plném rozsahu použít metodiku používanou pro propočet ekonomického potenciálu energetických úspor. Ekonomický potenciál se vyjadřuje jako uplatnění příslušných technologií na trhu, založené na distribuční křivce sestavené na základě použitých ekonomických kritérií a specifických parametrů. Základními parametry, používanými v těchto propočtech, jsou současné ceny energií v konečné spotřebě pro různé kategorie spotřebitelů a současné výkupní tarify elektřiny a tepla. Jako ekonomické kritérium je použita mezní prostá doba návratnosti 8 let, s výjimkou vodních elektráren,

pro které mezní doba návratnosti, vzhledem k jejich dlouhé životnosti, činí 16 let. Distribuční křivku, podle které bylo hodnoceno uplatnění technologií na trhu, ukazuje obrázek 1.

Základní předpoklady hodnocení:

1. Jestliže skutečná prostá doba návratnosti daného zařízení pro využívání OZE je kratší než 50 % mezní doby návratnosti, jeho uplatnění na trhu se rovná dostupnému potenciálu.
2. Jestliže skutečná prostá doba návratnosti se rovná mezní době návratnosti, uplatnění daného zařízení na trhu se rovná 50 % dostupného potenciálu.
3. Jestliže skutečná prostá doba návratnosti je delší než 200 % mezní doby návratnosti, uplatnění daného zařízení na trhu se rovná nule.



obrázek 1: Distribuční křivka používaná pro ocenění ekonomického potenciálu technologií pro využívání OZE.

3.2. Výkony OZE

Podobným způsobem jako potenciály, které udávají množství energie, jsou definovány výkony.

- **Instalovaný výkon P_i**

Výkon produkovaný při definovaných standardních a obvykle optimálních podmínkách. Jeho užitná hodnota je však dána možnostmi celoročního využití energetického zdroje.

- **Průměrný celoroční výkon P_{cr} [kW]**

Průměrný celoroční výkon lze vyjádřit jako výkon srovnatelného zařízení, které za dobu jednoho roku (8760 hodin) vyrobí stejné množství energie jako zařízení sledované. Platí, že:

$$P_{cr} = \frac{E_{cr}}{8760} \quad [kW]$$

rovnice 1: Průměrný celoroční výkon P_{cr} [kW].

kde:

E_{cr} je množství energie vyrobené systémem za dobu jednoho roku

Jedná se tudíž o část výkonu instalovaného. V případě OZE je toto kolísání nejen záležitostí potřeby energie, ale i kolísání výkonu přírodního zdroje energie.

- **Roční využití instalovaného výkonu t_{cr} [h]**

$$t_{cr} = \frac{E_{cr}}{P_i} \quad [h]$$

rovnice 2: Roční využití instalovaného výkonu t_{cr} [h].

- **Koeficient ročního využití k_r [-]**

Poměr průměrného celoročního a instalovaného výkonu je významným parametrem používaným pro ekonomické hodnocení a pro hodnocení reálných možností energetických zdrojů.

$$k_r = \frac{P_{cr}}{P_i} = \frac{E_{cr}}{(P_i \cdot 8760)}$$

rovnice 3: Koeficient ročního využití k_r [-].

Tato bezrozměrná veličina dosahuje nejvyšších hodnot pro jaderné elektrárny až 85 %, pro uhelné 50 – 70 %, obnovitelné zdroje energie obvykle 10-15 %.

- **Disponibilita OZE**

Obnovitelné zdroje energie jsou k dispozici trvale, ale nikoliv nepřetržitě.

3.3. Zásady tvorby energetických bilancí a její druhové členění

- **Energetická bilance**

Energetická bilance je obecně definována jako proces identifikace množiny energetických vstupů a množiny energetických výstupů zkoumaného systému. Matematická formulace vychází ze zákona o zachování energie:

$$W_{dod} = W_{sp} + W_{ztr}$$

rovnice 4: Nejjednodušší matematický zápis energetické bilance.

kde:

W_{dod} je množství dodané energie do systému za sledované období

W_{sp} je množství užitečné spotřebované energie v systému za sledované období

W_{ztr} je množství energie ztracené v systému vlivem energetických procesů.

Levá strana rovnice, která reprezentuje množství dodané energie za sledované období, se označuje jako **strana energetických zdrojů**, pravá strana rovnice se obvykle nazývá **strana spotřeby energie**.

Energetické bilance se obvykle vyjadřují ve formě **tabulky** nebo **grafu (Sankeyův diagram)**, členění se podle **účelu**:

- **Statistická energetická bilance**

Bilancuje energetické toky ve zkoumaném systému za uplynulé období. Slouží ke zjišťování stávajícího stavu a odhalení nedostatků a rezerv v užití jednotlivých forem energie ve zkoumaném systému.

- **Plánovací energetická bilance**

Slouží ke kvantifikaci budoucích potřeb energetických zdrojů na základě cílů a účelu zkoumaného systému.

Podle **předmětu bilancování**:

- Územní (státu, regionu, města, městské části, obce)
- Hospodářsko-organizační (střediska, závodu, podniku, oboru, odvětví)
- Agregátová (energetických zařízení a jejich částí, technologických celků)
- Objektová (výrobních hal, obytných domů, budov, bytů, místností)

3.4. Obecné zásady územní energetické koncepce

Územní energetické koncepce jsou příkladem celkové energetické analýzy. Mohou být zpracovány pro celé území, město, obec (energetický generel, dokument) nebo objekt (energetický audit).

3.4.1. Hlavní zásady ÚEK

- konkretizace regionální energetické politiky dané oblasti
- zajištění souladu rozvoje všech složek regionu s rozvojem energetického zásobování při uplatnění principu integrovaného plánování zdrojů, které respektuje optimální kombinaci dodávaných forem energie a jejich efektivního využití
- dosažení spolehlivého zásobování energií na celém území regionu při minimalizaci ekologických dopadů a ekonomických nákladů a zajistit dosažitelnost a spolehlivost energetických médií v potřebných objemech na celém území regionu.
- uplatnění energetické a ekologické politiky státu
- respektování současné legislativy
- prosazování snížení energetické náročnosti ve všech oblastech její spotřeby a podpora využívání druhotných energetických a obnovitelných zdrojů energie
- respektování specifických podmínek daného území, charakteristiku, regionální demografii, společensko-ekonomické klima, atd.
- zajištění součinnosti všech dodavatelů paliv a energií, rozhodujících odběratelů energie a místních orgánů zastupujících obyvatelstvo při zpracování, schvalování a aktualizaci
- zveřejnění zpracovaného energetického dokumentu a zvážení účelnosti připomínek veřejnosti při aktualizacích
- zahrnutí regionálního energetického dokumentu do regionální rozvojové dokumentace (regionálního plánu)
- zpřístupnění ÚEK všem zainteresovaným subjektům s požadavkem zapracování veškeré předprojektové a projektové přípravy investic v souladu s ÚEK
- zpracování ÚEK ve formě, která umožní jeho aktualizaci a případnou pružnou reakci a změnu vnějších a vnitřních regionálních podmínek, na jejichž základě je vytvořen

3.5. Zpracování energetické bilance v rámci ÚEK a role OZE v energetické bilanci

Energetická bilance regionu či obce by měla být nedílnou součástí regionálního energetického dokumentu. Zpracování energetických bilancí v rámci ÚEK má své specifické rysy a může se značně lišit podle typu a rozsahu energetického dokumentu. Zpravidla je v rámci ÚEK zpracována energetická bilance současného stavu (statistická bilance), která je výchozí bilancí pro další analýzy, a dále bilance výhledového stavu (je možno i několik variant či scénářů), sloužící k prognóze budoucích zdrojů a potřeb energie na základě výchozích podmínek dané varianty či scénáře.

Základní energetická bilance by měla být rozdělena na zdrojovou a spotřební část a pokrývat celé řešené území. Energetická bilance obvykle zahrnuje roční časové období a je vhodné, aby obsahovala údaje přepočtené na průměrné klimatické podmínky, tak aby byla zabezpečena porovnatelnost dat pro jednotlivá léta. Energetická bilance obce, města či regionu by měla sestávat ze dvou dílčích bilancí:

- bilance spotřeby primárních zdrojů energie
- bilance konečné spotřeby energie

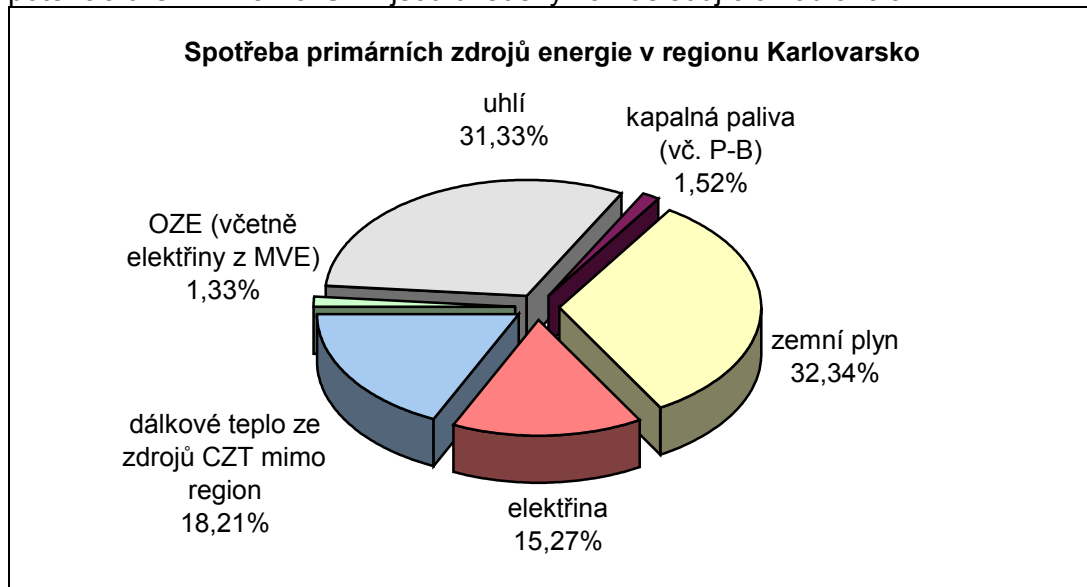
Konečná spotřeba je odvozena ze spotřeby primárních zdrojů energie, ve které je spotřeba primárních zdrojů ve zdrojích, ve kterých dochází k jejich přeměně (elektrárny, teplárny, zdroje CZT) nahrazena dodávkou elektřiny či tepla konečným spotřebitelům. V rámci tvorby energetické bilance je třeba stanovit přesnou hranici, mezi primárními zdroji energie a konečnou spotřebou - tedy např. i velké domovní nebo blokové kotelny o poměrně vysokém výkonu mohou spadat do konečné spotřeby, kdežto menší zdroje dodávající elektřinu do veřejné sítě nebo teplo do sítě CZT mezi zdroje primární.

Další členění energetické bilance v rámci ÚEK by mělo být v ideálním případě následující:

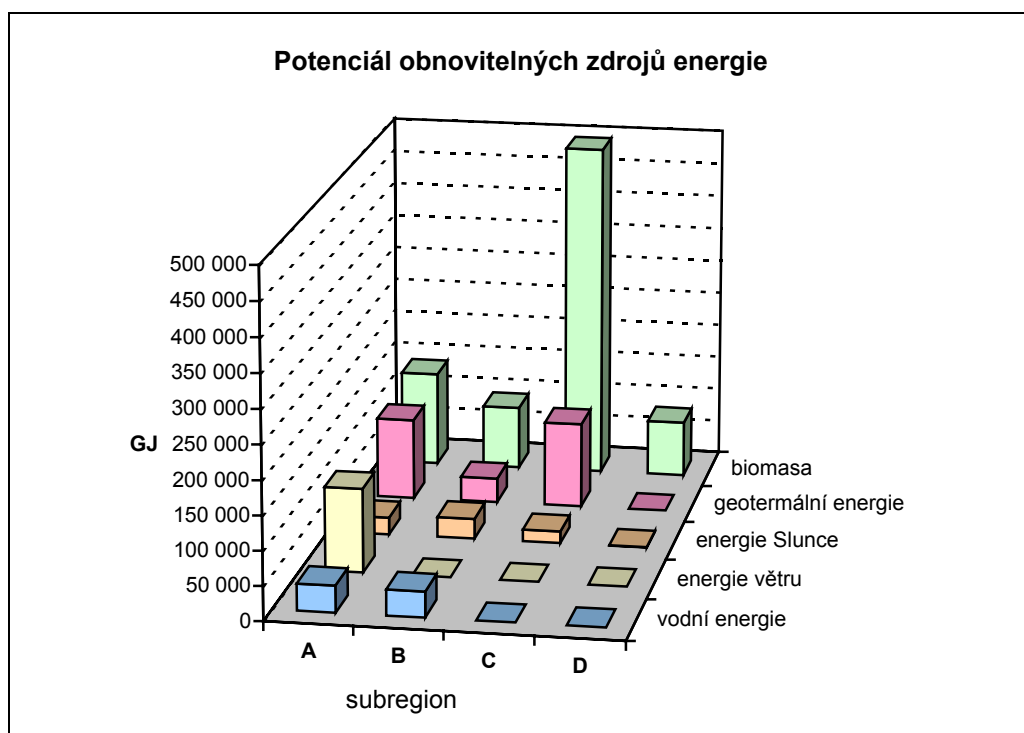
- Regionální členění podle subregionů, obcí, katastrů, částí obcí či urbanistických celků, a to jak ve zdrojové, tak i ve spotřební části.
- Sektorové členění spotřební strany bilance (nejlépe podle skupin OKEČ):
 - obyvatelstvo
 - veřejné a komerční služby
 - průmysl a stavebnictví
 - zemědělství
- Základní členění zdrojové části bilance podle paliv a energií:
 - černé uhlí
 - hnědé uhlí
 - koks
 - biomasa a bioplyn
 - těžký topný olej
 - lehký (a extralehký) topný olej
 - zkapalněné plyny pro spalování (propan, propan-butan)
 - zemní plyn
 - elektřina (včetně elektřiny z OZE)
 - teplo z centrálních zdrojů (CZT)
 - ostatní obnovitelné zdroje energie (solární a geotermální energie).
- V případě, že je třeba akcentovat nebo analyzovat pozici OZE ve zdrojové části energetické bilance podrobněji, nebo pokud je tvořena pouze dílčí bilance pro OZE, je možno zvolit podrobnější agregaci podle jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů energie:
 - elektřina z MVE
 - elektřina z větru
 - tuhá biomasa
 - bioplyn
 - kapalná biopaliva
 - solární teplo
 - geotermální teplo a teplo prostředí

Možností vyhodnocení podílu obnovitelných zdrojů v energetické bilanci je celá řada. V rámci energetické bilance se mimo absolutních hodnot zastoupení jednotlivých druhů OZE nebo celkového zastoupení všech druhů OZE obvykle používá procentní hodnocení, nejčastěji ve vztahu ke spotřebě primárních zdrojů energie. Podobným způsobem je možno vyhodnotit i prognózané podíly nebo využitelný potenciál OZE. Výsledky je možno prezentovat v tabulkové formě ale i ve formě koláčových či sloupcových grafů nebo Sankeyových diagramů.

Velmi efektivní prezentací výsledků s vysokou vypovídací hodnotou je prezentace ve formě prostředí geografických informačních systémů (GIS), kde je k informaci o bilančních hodnotách či podílech připojena i její geografická lokalizace. Příklady grafického vyhodnocení podílů a potenciálů OZE v rámci ÚEK jsou uvedeny na následujících obrázcích.



obrázek 2: Příklad vyhodnocení struktury spotřeby primárních zdrojů energie [%] v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko.



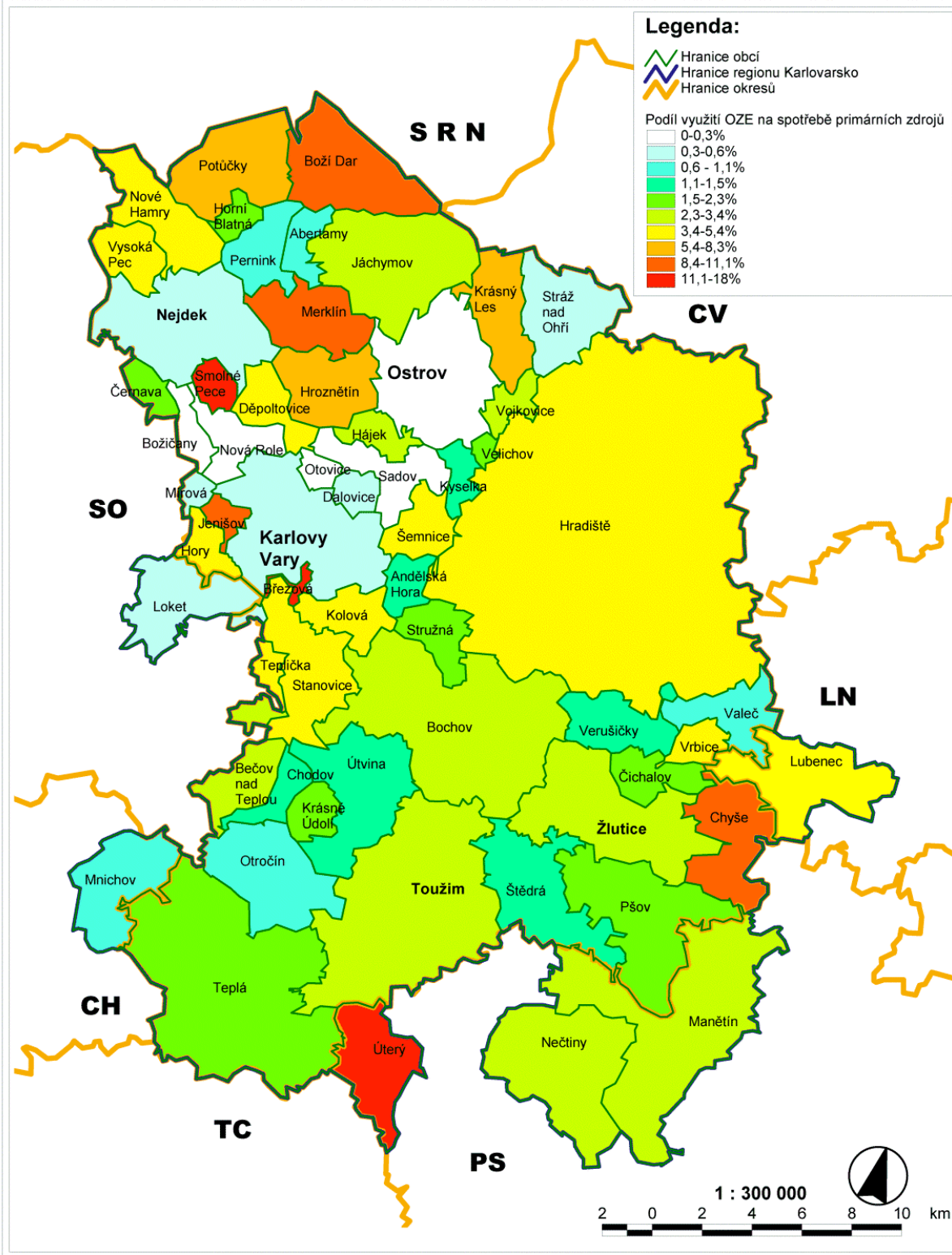
obrázek 3: Příklad vyhodnocení potenciálu obnovitelných zdrojů energie po subregionech [GJ/rok] v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko.

Energetický koncept regionu Karlovarsko

Porovnání využití OZE se spotřebou primárních zdrojů energie v roce 1999



SRC International CS s.r.o.
projekt CS 1190



obrázek 4: Příklad vyhodnocení podílu současného využití OZE na spotřebě primárních energetických zdrojů v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko v prostředí GIS.

3.6. Sběr dat o současném stavu využití OZE v rámci ÚEK

Získání alespoň základního přehledu o současném využití obnovitelných zdrojů energie v lokalitě či regionu a o jejich potenciálu je nezbytným vstupem pro stanovení korektní energetické bilance, ale i předpokladem pro jakákoliv koncepční rozhodnutí v této oblasti.

Získání dostatečně přesných údajů o současném využití obnovitelných zdrojů energie může být na rozdíl od klasických energetických zdrojů obtížnější. Při získávání přehledu o současném využívání obnovitelných zdrojů energie v rámci koncepčních energetických projektů a při tvorbě energetických bilancí obcí, měst a regionů narážíme na problém, kde získat dostatečně přesné a vyčerpávající údaje, pokrývající široké a různorodé spektrum využívání jednotlivých obnovitelných zdrojů. Obnovitelné zdroje energie jsou v současnosti využívány především decentralizovaně, což s sebou přináší problematickou dostupnost údajů o instalovaných výkonech, dodávce energie i dalších parametrech (většina OZE mimo MVE, VE připojených do sítě a zdrojů CZT na biomasu nepodléhá autorizaci podle energetického zákona, zdroje využívající OZE s výjimkou spalování biomasy a bioplynu nepatří mezi zdroje znečišťování ovzduší, a nejsou tedy vedeny v databázích REZZO).

Podle § 4 odst. 6 Zákona o hospodaření energií (406/2000 Sb.) si pro zpracování územní energetické koncepce kraje může kraj vyžádat součinnost držitelů autorizace na podnikání v energetických odvětvích, dodavatelů tuhých a kapalných paliv, podnikajících na území, pro které se územní energetická koncepce zpracovává, jakož i největších spotřebitelů energie. Ti jsou povinni, pokud jsou k tomu krajem vyzváni, pro vypracování územní energetické koncepce poskytnout v rozsahu a lhůtě stanovené ve výzvě bezúplatně podklady. Zatím však není jasné, zda a v jaké míře se toto ustanovení bude vztahovat i na územní energetické koncepce menších regionů a obcí.

4. Energie Slunce

4.1. Možnosti využití

Sluneční energie sice dopadá na každé místo naší republiky, ale s ohledem na počasí jde o nestálý energetický zdroj, který je většinou doplňkem klasických zdrojů energie (plyn, elektrický proud, dálkové teplo, uhlí atd.). Nevýhodou je závislost na denní době, ročním období a na oblačnosti v dané lokalitě.

Možnosti využití slunečního záření je v zásadě dvojí:

- fotoelektrická přeměna, přímá přeměna slunečního záření na elektřinu,
- fototermální přeměna, jímání globálního slunečního záření plochými kolektory pro získávání tepla.

Z výše zmíněného rozdělení v zásadě vyplývají možnosti odhadu skutečné využitelnosti energie slunečního záření, která kromě vhodné plochy (např. vhodně nakloněné střechy obydlí) je závislá i na účinnosti zařízení a v neposlední řadě na investiční náročnosti a ekonomické efektivitě.

4.1.1. Fotoelektrina [37]

Díky **fotoelektrickému jevu** v polovodičích můžeme energii slunečního záření přeměnit v solárních článcích na elektrickou energii.

4.1.1.1. Fotoelektrické články, princip zařízení

Základním prvkem zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii je **solární článek**. Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek s alespoň jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra). Elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi předním (-) a zadním (+) kontaktem solárního článku. Zátěží (elektrospotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jež je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření.

Energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je u současných hromadně vyráběných solárních článků 14 – 17%, v podmínkách reálného provozu některé prameny uvádějí 10-12% s ohledem na pokles účinnosti s teplotou (v laboratorních podmínkách může být účinnost až 28 %). Celková účinnost systému je však ještě nižší. Pro ilustraci – monokrystalický solární článek s plochou 100 cm² je schopen dodávat do zátěže proud okolo 3 A při napětí 0,5 V.

V současné době jsou nejrozšířenější solární články vyrobené z krystalického křemíku ve formě monokrystalu nebo multikrystalu. Své praktické uplatnění mají i tenkovrstvé solární články na bázi amorfního křemíku. Do výroby jsou zaváděny nové tenkovrstvé technologie CdTe, CIS a CIGS struktury. Ke komerčnímu uplatnění se blíží technologie fotovoltaiických skleněných tabulí.

4.1.1.2. Fotoelektrické panely

Sériovým nebo i paralelním elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření solární panel. Články jsou sério-paralelně elektricky spojeny tak, aby bylo dosaženo potřebného napětí a proudu pro přímé využití generované elektrické energie. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a povětrnostní odolnost (např. vůči silnému větru či krupobití).

Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Panely jsou instalovány zpravidla na jižní (JV až JZ) střechy a fasády budov, případně na volnou plochu nebo na technické stavby jako např. protihlukové bariery.

4.1.1.3. Využití elektrické energie ze Slunce

Přeměna slunečního záření na elektřinu má široké pole použití. Se stejnými prvky (solární články) je možné realizovat aplikace s výkonem řádově od mW až po MW. FV systémy je možné provozovat kdekoli na Zemi.

Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky – např. akumulátorovou baterii, regulátor, napěťový měnič, sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje. Sestava fotovoltaického modulu, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá **fotovoltaickým systémem**. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), autonomní systémy jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku. Výkony autonomních systémů se pohybují v intervalu 1 – 10 000 wattů špičkového výkonu. U autonomních systémů je kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů.

Systémy s přímým napájením jsou realizovány všude tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního modulu a spotřebiče.

Aplikace: čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor nebo nabíjení akumulátorů malých přístrojů – mobilní telefon, svítilna, atd.

Systémy s akumulací elektrické energie. Doba, po kterou je k dispozici energie ze solárních panelů většinou není totožná s dobou, kdy nastává její největší potřeba. Z toho důvodu jsou nezbytnou součástí autonomních systémů akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno regulátorem nabíjení. K autonomnímu systému lze připojit jak spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24V), tak běžné síťové spotřebiče 230V/~50Hz napájené přes napěťový měnič.

Aplikace: zdroj elektrické energie pro chaty a rodinné domy, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, zahradní svítidla, světelné reklamy, camping a jachting.

Hybridní autonomní systémy. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné systémy s celoročním provozem a s častým užíváním počítat na zimní provoz. Instalovaný výkon fotovoltaických panelů však v takovém případě neúměrně naroste a s tím i pořizovací náklady. Mnohem výhodnější je potom z tohoto důvodu připojit do energetického systému doplňkový zdroj elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem. Takovým zdrojem může být větrný generátor, spalovací generátor (nejlépe s kogenerací - společná výroba elektrické a tepelné energie) a nebo malá vodní elektrárna.

Aplikace: větší systémy pro napájení budov s celoročním provozem.

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on) jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeny vlastní „solární“ elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie, je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána. Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového měniče. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí jednotek kilowatt až jednotek megawatt. Fotovoltaické panely jsou většinou integrovány do obvodového pláště budov. Dnes představují cca 20% z instalovaných systémů. Nejrozšířenější jsou v SRN (90%) a Švýcarsku (67%). V České republice jsou realizovány dva významnější systémy tohoto typu. První z nich je

fotovoltaická elektrárna s výkonem 10 kW_p na hoře Mravenečník v Jeseníkách a druhým systémem je solární prodloužení fasády s barevnými solárními články na hotelu Panorama v Praze - Pankráci (výkon 6 kW_p). Tento společný demonstrační projekt je spolufinancován z programu INCO-COPERNICUS Komise EU a Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy ČR v rámci podpory projektů výzkumu a vývoje.

Aplikace: střechy rodinných domů do 1-10 kW, fasády a střechy administrativních budov 10 kW – 1MW, protihlukové bariery okolo dálnice, fotovoltaické elektrárny, posilovače koncových větví rozvodné sítě.

4.1.2. Fototermální přeměna

Přeměna světelného záření na teplo (**fototermální přeměna**) může být **pasivní** (pomocí pasivních solárních prvků, např. prosklené fasády) nebo **aktivní** (pomocí přídavných technických zařízení, např. sluneční kolektory). Aktivní systémy lze využít zejména k celoroční přípravě teplé užitkové vody (TUV), ohřevu bazénové vody a k přitápění budov pomocí topné vody nebo vzduchu.

4.1.2.1. Typy slunečních kolektorů

Z hlediska teplotního média dělíme kolektory na **kapalinové** a **vzduchové** resp. **kombinované**.

Solární kolektory přeměňují sluneční záření zachycené **absorbérem** kolektoru na tepelnou energii. Ta je odváděna teplotně kapalinou do místa potřeby, například solárního zásobníku. Pro celoroční provoz musí být teplotně kapalina nemrznoucí a systém je obvykle dvouokruhový s výměníkem. Pro využití maximálního slunečního záření v létě postačí plastové absorptory bez skleněného zakrytí v jednookruhovém systému s přímým průtokem ohřívání vody.

Ploché kolektory mají čelní plochu stejně velkou jako absorpční. Jsou-li opatřeny selektivní absorpční vrstvou, mají vyšší účinnost a dokážou zpracovat i difuzní záření (při zatažené obloze).

Trubicové kolektory mají absorptor (mívají také selektivní vrstvu) zataven ve vakuové trubici. Vakuum snižuje tepelné ztráty, což zvyšuje účinnost při dosažení vyšších výstupních teplot než u plochých kolektorů.

U koncentračních kolektorů čelní (lineární Fresnelovy čočky) nebo odrazová plocha (duté zrcadlo) koncentruje záření na menší absorpční plochu. Dosáhne se tak vyšších teplot a vyšší účinnosti, jako jediné se doplňují buď pohyblivým pásem absorptoru nebo zařízením pro natáčení za Sluncem.

4.1.2.2. Solární systém

Realizovaný solární systém pracuje nejlépe, pokud je navržen **pro skutečné místní podmínky** (dimenzování a umístění kolektorů, způsob využití - ohřev TUV, bazén, ÚT, počet osob, způsob napojení na klasický zdroj energie, způsob automatické regulace).

Solární zásobník pro ohřev užitkové vody. V solárním zásobníku ohříváme teplou vodu solární energií, doplňkově elektřinou nebo tepelnou energií z ústředního vytápění. Proto musí být vybaven dvěma výměníky tepla - jeden je napojen na okruh ústředního vytápění, druhý na solární okruh. Pro klasický ohřev elektřinou má běžné elektrické topné těleso. Plocha solárního výměníku musí být dostatečně velká pro co nejlepší přestup tepla z teplotně kapalin do vody v zásobníku. Ten má mít takový objem, aby i v parném létě stačil akumulovat zachycenou energii a nedošlo k poškození systému. Z hygienických důvodů je žádoucí alespoň jednou denně ohřát obsah zásobníku na 60 °C.

Výměník tepla se u solárního okruhu umísťuje v zásobníku co nejnižší. Nad ním je výměník okruhu ústředního vytápění a nejvýše se umístí elektrické topné těleso. Plochy výměníků musí být navrženy s ohledem na materiál, z něhož jsou vyrobeny, na teplotu kapaliny v solárním

okruhu a dále na průtok a objem zásobníku. Elektrické topné těleso slouží pro ohřev užitkové vody, když nesvítí Slunce a netopí se. Jeho výkon musí odpovídat objemu vody v zásobníku.

Čerpadlo, potrubí a armatury. Potrubí musí být navrženo na odpovídající požadovaný průtok, teplotu a tlak teplotnosné kapaliny v solárním okruhu. Samozřejmostí je kvalitní izolace. Oběhové čerpadlo zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny. Armatury slouží k plnění systému teplotnosnou kapalinou a zabezpečují správnou funkci včetně kontroly a regulace (manometr, teploměr, zpětný ventil).

Zabezpečovací zařízení. K vyrovnání tlaku vlivem značného kolísání teploty je nutné do okruhu připojit expanzní nádobu, jejíž konstrukce a umístění musí odpovídat předpokládané maximální teplotě, objemu a tepelné roztažnosti teplotnosné kapaliny. Pro případy extrémního zvýšení tlaku a následného poškození systému se instaluje pojistný ventil.

Regulační zařízení. Zabezpečuje optimální výkon systému, chrání ho před poškozením a umožňuje potřebnou regulaci tepla mezi spotřebiči.

Teplotnosná kapalina. Pro sezónní ohřev užitkové vody se jako teplotnosná kapalina používá voda. V případě nízkých teplot v zásobníku se však mohou ve vodě rozmnožit mikroorganismy. Pro celoroční provoz je nutné použít nemrznoucí směs, která má mít podobné fyzikální vlastnosti jako voda (kromě bodu tuhnutí). Tomu vyhovují kapaliny na bázi glykolů, například Solaren. Směs vody s Fridexem je jedovatá, podle hygienických předpisů se nesmí používat.

4.1.2.3. Zásady pro dispoziční uspořádání technologického zařízení TUV

Možností, jak zapojit solární systém pro ohřev TUV je více, přičemž se od sebe liší zásadním způsobem v zapojení a také v dispozičním uspořádání. Lze je rozlišit podle dvou základních kritérií:

I. Rozdělení podle způsobu oběhu teplotnosné kapaliny:

- a) Solární systémy se samotížným oběhem
- b) Solární systémy s nuceným oběhem

II. Rozdělení podle počtu okruhů:

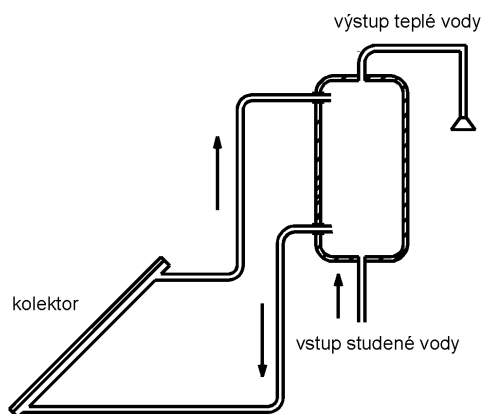
- a) Jednookruhové (přímý ohřev TUV)
- b) Dvouokruhové (ohřev TUV přes výměník)

ad 1: Solární systémy se samotížným oběhem využívají k oběhu teplotnosné kapaliny gravitačního potenciálu mezi kolektorem a zásobníkem. Kapaliny v systému proudí díky rozdílu hustoty mezi ochlazenou a ohřátou teplotnosnou kapalinou. To znamená, že po ohřátí v kolektoru stoupá vzhůru do zásobníku a z něj ochlazená klesá dolů zpět do kolektoru, kde se opět ohřívá.

Mezi hlavní nevýhody tohoto zapojení patří nutnost umístit solární zásobník výše než kolektory, je obtížnější správně dimenzovat průřezy potrubí, velikosti armatur apod., hůře se reguluje průtok teplotnosné kapaliny kolektorem (z toho plyne nižší účinnost zařízení), je nutné pečlivě vybírat vhodné solární kolektory a výměníky tepla (většina z nich není pro svůj velký hydraulický odpor k tomuto zapojení vhodná).

Mezi výhody patří nižší pořizovací náklady, maximální jednoduchost, nezávislost na vnějším zdroji energie, vyšší spolehlivost, nehrozí výpadek čerpadla.

Systém samotížného oběhu se využívá u velmi jednoduchých malých solárních systémů určených převážně pro sezónní ohřev.



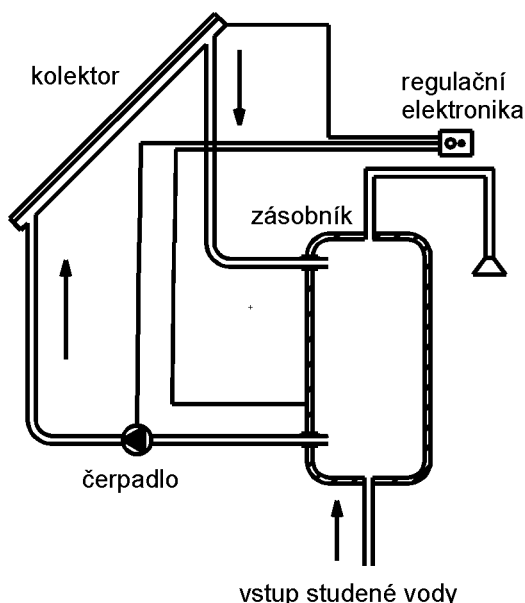
obrázek 5: Schéma jednookruhového solárního systému se samotížným oběhem pro ohřev TUV.

ad 2: Solární systémy s nuceným oběhem využívají k oběhu teplonosné kapaliny oběhové čerpadlo. Kapalina proudí v systému nuceně, je hnána běžným oběhovým topenářským čerpadlem.

Výhody tohoto zapojení jsou v přesné regulaci (zejména průtoku teplonosné kapaliny kolektorem), a tím vyšší účinnosti přenosu tepla. Prvky systému lze téměř libovolně rozmístit a následně optimalizovat výkon úpravou hydraulických parametrů.

Zmenšení průtoku vlivem hydraulických ztrát se nechá částečně vykompenzovat změnou otáček čerpadla, snížení průtoku lze docílit škrcením.

Mezi nevýhody patří vyšší pořizovací náklady, větší složitost, nižší spolehlivost (výpadek čerpadla) a závislost na vnějším zdroji energie.



obrázek 6: Schéma jednookruhového solárního systému s nuceným oběhem pro ohřev TUV.

ad a: Jednookruhové solární systémy pracují bez výměníku tepla (viz. obrázek 5). Kolektory jsou napojeny přímo na solární zásobník v němž ohřívají TUV. Teplonosná kapalina je stejná pro celý okruh (TUV).

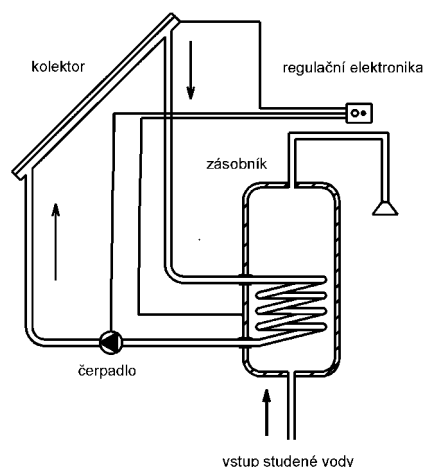
Mezi výhody patří vysoká účinnost přenosu tepla, nižší pořizovací náklady (není nutný výměník), jednoduchost. Nevýhodou je možnost použití pouze pro sezónní provoz (jinak hrozí zamrznutí vody v systému). Propojení okruhu spotřeby a výroby tepla komplikuje návrh zejména složitějších systémů. Vlivem používání neupravené vodovodní vody dochází k zanášení a korozi (oxidaci) kolektoru i systému.

Jednookruhové systémy s přímým ohřevem TUV bez tepelného výměníku se téměř výhradně používají v nejjednodušších zařízeních pro sezónní ohřev vody. V případě složitějších solárních systémů bude problematické vyhovět příslušným normám pro výrobu TUV (nevyhovující průběh teplot, nebezpečí tvorby bakterií, řas a pod.).

ad b: Dvouokruhové solární systémy pracují s výměníkem tepla a dvěma nezávislými okruhy (viz. obrázek 7). První (primární) okruh má za úkol rozvádět ohřátou teplotnosnou kapalinu od kolektorů do výměníku tepla. Druhý (sekundární) okruh přebírá teplo z výměníku a vede ho do místa spotřeby (solární zásobník).

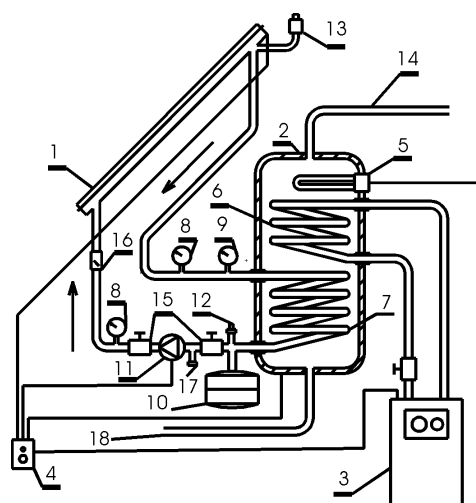
Primární okruh je nejčastěji napuštěn nemrznoucí směsí na bázi roztoku vody, propylénglykolu s inhibitory koroze, kdežto v sekundárním okruhu je vyráběná TUV.

Mezi výhody patří oddělení okruhů výroby a spotřeby tepla umožňující využití systému v celoročním provozu. Tlakové oddělení okruhů umožňuje velkou variabilitu zapojení s různými průtoky médií. Nevýhodou je především horší účinnost díky ztrátám ve výměníku tepla, vyšší pořizovací náklady, větší složitost a tím nižší spolehlivost. Dvouokruhové systémy s celoročním provozem patří mezi nejrozšířenější (klasické řešení).



obrázek 7: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.

Zásady pro dispoziční uspořádání dvouokruhového solárního systému s nuceným oběhem TUV.



obrázek 8: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.

Popis jeho součástí: 1-solární kolektor, 2-solární zásobník (trivalentní), 3-kotel ústředního vytápění, 4-elektronická regulace solárního systému, 5-elektrické topné těleso, 6-výměník tepla okruhu ústředního vytápění, 7-výměník tepla solárního okruhu, 8-teploměry, 9-manometr, 10-expanzní nádrž, 11-oběhové čerpadlo, 12-pojišťovací ventil, 13-odvzdušňovací ventil, 14-výstup teplé vody, 15-uzavírací ventily, 16-zpětná klapka, 17-plnicí kohout, 18-vstup studené vody z vodovodního řadu.

Pozice č. 8, 9, 10, 11, 12, 16 spolu s průtokoměrem jsou na Solární instalační jednotce.

4.2. Metodické postupy posuzování potenciálů

4.2.1. Intenzita slunečního záření

Energie Slunce je tvořena termojadernými procesy a je vyzařována do meziplanetárního prostoru v podobě elektromagnetického záření. Spektrum vlnových délek tohoto záření před vstupem do atmosféry je podobné záření absolutně černého tělesa o povrchové teplotě cca 6 000 K. Vlnové délky se pohybují od 10^{-10} do 10^3 m.

Sluneční záření lze v atmosféře rozdělit na **přímé** a **rozptýlené**. **Přímé sluneční záření** je záření od slunečního disku, které tvoří vzhledem k velké vzdálenosti od Slunce svazek prakticky rovnoběžných paprsků. **Rozptýlené sluneční záření** vzniká v důsledku rozptylu přímých slunečních paprsků na molekulách plyných složek vzduchu, vodních kapkách a ledových krystalcích a na různých aerosolových částicích. Rozptýlené záření se jeví jako světlo oblohy, kdyby nebylo, jevila by se obloha i během dne černá s ostře zářícím slunečním kotoučem.

Základní veličinou při popisu přímého slunečního záření je **intenzita I**, která je definována jako množství zářivé energie dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu **orientovanou kolmo ke slunečním paprskům**.

Solární klima v meteorologii označuje rozložení příkonu slunečního záření dopadajícího na horní hranici atmosféry, jeho intenzita závisí pouze na zeměpisné šířce a roční době.

$$I_0 = I_* \frac{R_0^2}{R^2}$$

rovnice 5: Vztah pro intenzitu slunečního záření na horní hranici atmosféry.

kde:

I_* je solární konstanta [W/m^2]

R_0 je střední vzdálenost Země od Slunce [km]

R je okamžitá vzdálenost Země od Slunce [km]

Solární konstanta I_* udává intenzitu slunečního záření na hranici (vně) zemské atmosféry ve střední vzdálenosti Země - Slunce, $I_* = 1367 \text{ W/m}^2$ [75], [76]. Někdy se veličina I_0 považuje za solární konstantu I_* a uvažuje se v rozsahu $1340 - 1390 \text{ W/m}^2$, např. v [8]. Maximální vzdálenost Země od Slunce je cca 152 000 000 km a minimální 147 000 000 km, to znamená, že hodnota faktoru R_0^2/R^2 v průběhu roku kolísá přibližně o $\pm 0,035$ kolem jedné. Proto intenzita přímého slunečního záření při vstupu do zemské atmosféry I_0 může kolísat od solární konstanty I_* maximálně o 3,5 % její hodnoty.

$$I = I_* \frac{R_0^2}{R^2} P$$

rovnice 6: Vztah pro intenzitu přímého slunečního záření na zemském povrchu.

kde:

I je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům [W/m^2]

I_* je solární konstanta [W/m^2]

R_0 je střední vzdálenost Země od Slunce [km]

R je okamžitá vzdálenost Země od Slunce [km]

P propustnost zemské atmosféry pro přímé sluneční záření

Insolace J je množství přímého slunečního záření dopadající za jednotku času na jednotkovou plochu horizontálního zemského povrchu.

$$J = I \cdot \sin \alpha_s$$

rovnice 7: Vztah pro insolaci.

$$J = I \cdot \cos \vartheta$$

rovnice 8: Vztah pro insolaci.

kde:

I je intenzita přímého slunečního záření na zemském na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům [W/m^2]

α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem [$^\circ$]

ϑ je úhlová vzdálenost Slunce od zenitu, tzv. zenitový úhel Slunce [$^\circ$], $\vartheta = (90^\circ - \alpha_s)$

Z elementární matematické úvahy provedené na základě rovnice 5 dostáváme:

$$J_0 = I_* \frac{R_0^2}{R^2} \sin \alpha_s$$

rovnice 9: Vztah pro insolaci slunečního záření na horní hranici atmosféry.

kde:

I_* je solární konstanta [W/m^2]

R_0 je střední vzdálenost Země od Slunce [km]

R je okamžitá vzdálenost Země od Slunce [km]

α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem [$^\circ$]

Směr paprsků je dán vzájemnou polohou Slunce nad obzorem (poloha Slunce vzhledem k Zemi) a osluněné plochy. Ze sférické astronomie proto vyplývá následující vztah pro výšku Slunce nad obzorem:

$$\sin \alpha_s = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega$$

rovnice 10: Vztah pro výšku Slunce nad obzorem.

kde:

α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem [$^\circ$]

δ je deklinace Slunce - sluneční deklinace [$^\circ$]

φ je zeměpisná šířka [$^\circ$]

ω je hodinový úhel Slunce [$^\circ$]

Při navrhování slunečních systémů na ohřev TUV nebo přitápění, případně pro stanovení potenciálu je však konečným cílem výpočtu určení energie dopadající na osluněnou plochu. Pro úhel dopadu slunečních paprsků na obecně položenou plochu lze odvodit např. podle [8] následující vztahy:

$$\cos \vartheta = \sin \alpha_s \cos \beta + \cos \alpha_s \sin \beta \cos(\alpha - \alpha_N)$$

rovnice 11: Úhel dopadu slunečních paprsků, úhel normály osluněné plochy s vertikálním směrem paprsků.

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \alpha_s} \sin \omega$$

rovnice 12: Azimutový úhel Slunce.

kde:

- ϑ je úhel, který svírá normála osluněné plochy s vertikálním směrem paprsků, pro horizontálně orientovanou plochu platí $\vartheta = (90^\circ - \alpha_s)$, je to úhlová vzdálenost Slunce od zenitu, tzv. zenitový úhel Slunce $[\circ]$
- α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem $[\circ]$
- β je úhel sklonu obecně položené osluněné plochy od vodorovné roviny $[\circ]$
- α je azimutový úhel Slunce měřený stejně jako hodinový úhel Slunce $[\circ]$
- α_N je azimutový úhel normály obecně položené osluněné plochy měřený stejně jako hodinový úhel Slunce $[\circ]$
- ω je hodinový úhel Slunce $[\circ]$

Z rovnice 11 vyplývá, že pro horizontálně orientovanou plochu platí $\vartheta = (90^\circ - \alpha_s)$, a proto $\cos \vartheta = \sin \alpha_s$, viz rovnice 7 a rovnice 8.

Deklinace Slunce je úhel sevřený spojnici Slunce se stanovištěm pozorovatele a rovinou světového rovníku, neboli zeměpisná šířka místa, kde v daný den Slunce kulminuje nad obzorem (ve 12 h v poledne), $\delta > 0$, pokud se daný bod nalézá nad rovinou světového rovníku a $\delta < 0$ v opačném případě. Deklinace Slunce představuje úhel, jehož hodnota závisí na roční době, pro rovnodennost platí $\delta = 0$, maximum je přibližně $\delta = 23,5^\circ$ v době letního slunovratu a minimum je přibližně $\delta = -23,5^\circ$ v době zimního slunovratu. Sluneční deklinace δ má pro každý den v roce jinou hodnotu, pro libovolný den v roce se spočítá ze vztahů:

$$\delta = 23,45^\circ \sin(\varepsilon - 109^\circ)$$

rovnice 13: Sluneční deklinace pro libovolný den v roce.

kde

$$\varepsilon = 0,98^\circ D + 29,7^\circ M$$

rovnice 14: Úhel určující pořadí daného dne v roce (datum).

kde:

D je den v měsíci

M je měsíc v roce (leden = 1, únor = 2, ...)

Hodinový úhel Slunce představuje čas, časový úhel, udává se v obloukových stupních (jedné hodině odpovídá úhel 15°). Měří se od bodu kulminace Slunce v daný den (ve 12 h v poledne), kdy $\omega = 0$, směrem na východ se značí ω záporně a na západ kladně, tedy platí, že $\omega \in \langle -\pi, \pi \rangle$.

$$\omega = \frac{2\pi}{\tau} t - K$$

rovnice 15: Závislost hodinového úhlu Slunce na čase.

kde:

t je čas, pro který platí v okamžiku kulminace $t=0$, čas před kulminací uvažujeme záporný a po kulminaci kladný (s ohledem na zavedený hodinový úhel Slunce)

τ je doba 24 hodin vyjádřená ve stejných jednotkách jako t

K je korekce na nerovnoměrnost otáčení Země, kterou lze pro zjednodušení výpočtu zanedbat

Insolaci v solárním klimatu (tj. bez vlivu zemské atmosféry) lze potom vyjádřit v následujícím tvaru jako funkci zeměpisné šířky, roční a denní doby:

$$J_0 = I_* \frac{R_0^2}{R^2} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega)$$

rovnice 16: Vztah pro insolaci v solárním klimatu (bez vlivu zemské atmosféry).

kde:

- I_* je solární konstanta [W/m^2]
- R_0 je střední vzdálenost Země od Slunce [km]
- R je okamžitá vzdálenost Země od Slunce [km]
- δ je deklinace Slunce - sluneční deklinace [$^\circ$]
- φ je zeměpisná šířka [$^\circ$]
- ω je hodinový úhel Slunce [$^\circ$]

4.2.2. Úhrn slunečního záření bez vlivu atmosféry

Od východu (t_1) do západu (t_2) Slunce lze potom vyjádřit denní úhrn slunečního záření Q_{SOL} odpovídající solárnímu klimatu následujícím způsobem:

$$Q_{\text{SOL}} = \int_{t_1}^{t_2} J_0 dt$$

rovnice 17: Denní úhrn slunečního záření odpovídající solárnímu klimatu.

kde:

- Q_{SOL} je denní úhrn slunečního záření odpovídající solárnímu klimatu, tj. množství slunečního záření, které dopadá na jednotkovou horizontální plochu nalézající se na horní hranici atmosféry v době od východu do západu Slunce
- J_0 je insolace v solárním klimatu [W/m^2]
- t je čas, pro který platí v okamžiku kulminace $t=0$, čas před kulminací uvažujeme záporný a po kulminaci kladný (s ohledem na zavedený hodinový úhel Slunce)
- t_1 je doba východu Slunce
- t_2 je doba západu Slunce

Pro časy t_1 a t_2 , tedy pro dobu astronomického (teoretického) východu a západu Slunce, platí že úhlová výška nad obzorem $\alpha_s = 0$, a tudíž i $\sin \alpha_s = 0$. Z rovnice 10 pro uvedené hodnoty vyplývá:

$$\cos \omega = -\frac{\sin \delta}{\cos \delta} \cdot \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = -\text{tg} \delta \cdot \text{tg} \varphi$$

rovnice 18: Hodinový úhel při východu a západu Slunce.

kde:

- ω je hodinový úhel Slunce [$^\circ$]
- δ je deklinace Slunce - sluneční deklinace [$^\circ$]
- φ je zeměpisná šířka [$^\circ$]

Goniometrická funkce uvedená výše má za předpokladu ideálního kruhového obzoru v intervalu $\langle -\pi, \pi \rangle$ při daných hodnotách δ (deklinace Slunce - den v roce) a φ (zeměpisná šířka) dvě řešení $\omega = \omega_0, -\omega_0$, přičemž řešení $\omega_0 > 0$ je jednoznačně určeno δ a φ .

Z výše uvedených vztahů rovnice 15, rovnice 16, rovnice 17 a rovnice 18 plyne pro určitý den a danou zeměpisnou šířku:

$$Q_{\text{SOL}} = \frac{\tau}{2\pi} I_* \frac{R_0^2}{R^2} \int_{-\omega_0}^{\omega_0} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) d\omega$$

rovnice 19: Denní úhrn slunečního záření v solárním klimatu.

Odtud potom po provedení integrace získáme vztah:

$$Q_{SOL} = \frac{\tau}{\pi} I_* \frac{R_0^2}{R^2} (\omega_0 \sin \delta \sin \varphi + \sin \omega_0 \cos \delta \cos \varphi)$$

rovnice 20: Denní úhrn slunečního záření v solárním klimatu.

4.2.3. Průchod slunečního záření atmosférou

Přímé sluneční záření je zemskou atmosférou zeslabováno **rozptylem** paprsků odrazem o molekuly plynů (molekulární rozptyl) a větší částíčky (vodní kapičky, ledové krystalky a částíčky prachu) a **absorpcí** (pohlcováním) zejména víceatomovými molekulami plynů (oxidem uhličitým CO₂, vodní párou H₂O, oxidy dusíku NO_x a ozónem O₃)

Celkové zeslabení přímého slunečního záření v atmosféře popisuje tzv. Beerův zákon, ze kterého se odvozuje tzv. Bouguerův vzorec [2]:

$$I = I_0 \exp(-m \int_z^\infty b_{ex} dz)$$

rovnice 21: Bouguerův vzorec pro intenzitu přímého slunečního záření ve výšce z nad zemským povrchem.

kde:

- I je intenzita přímého slunečního záření na plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům na hladině o vertikální souřadnici „z“ nad zemským povrchem [W/m²]
- I_0 je intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry [W/m²]
- m je optická hmota, poměr skutečné délky dráhy paprsku v atmosféře ku délce dráhy, kterou by urazil tentýž paprsek, kdyby procházel atmosférou kolmo k horizontálnímu zemskému povrchu
- b_{ex} je koeficient extinkce (zeslabení), $b_{ex} = b_r + b_a$, kde b_r je koeficient rozptylu a b_a je koeficient absorpce
- z je vertikální souřadnice hladiny, v níž má přímé sluneční záření intenzitu I , pro zemský povrch zpravidla klademe $z = 0$

$$m = \frac{\sqrt{r_z^2 \cos^2 \vartheta + 2r_z H + H^2} - r_z \cos \vartheta}{H}$$

rovnice 22: Vztah pro optickou hmotu při uvažovaném sférickém tvaru Země.

kde:

- r_z je střední poloměr Země [m]
- H je tloušťka, tzv. homogenní atmosféry, což je teoretický model fiktivní atmosféry, která má ve svém celém vertikálním rozsahu stejnou hustotu jako u zemského povrchu, přibližně 8 km
- ϑ je úhlová vzdálenost Slunce od zenitu, tzv. zenitový úhel Slunce [°]

Vztah, který uvádí rovnice 22 uvažuje sférický tvar Země a zanedbává zakřivení slunečních paprsků v atmosféře způsobené jejich lomem. V literatuře [2] se tento vztah doporučuje pro úhlovou výšku $10^\circ < \alpha_s < 30^\circ$ nad ideálním obzorem. Případně lze použít i empirický vzorec:

$$m = \cos^{-1} \vartheta - \frac{2,8}{\alpha_s^2}$$

rovnice 23: Empirický vzorec pro optickou hmotu při uvažovaném sférickém tvaru Země, α_s je zde potřeba zadávat v úhlových stupních.

Pokud zanedbáme i zakřivení zemského povrchu lze pro úhlovou výšku Slunce nad obzorem $30^\circ < \alpha_s$ použít následující vztah.

$$m = \cos^{-1} \vartheta$$

rovnice 24: Vztah pro optickou hmotu při zanedbání sférického tvaru Země a refrakce (lomu) slunečních paprsků v atmosféře.

V případech, kdy $\alpha_s < 10^\circ$, se významněji uplatňuje vliv lomu paprsků v ovzduší, který závisí na změnách hustoty vzduchu s výškou (proto se mění s charakterem teplotního zvrstvení atmosféry), je potřeba do výpočtů zahrnout i astronomickou refrakci [2].

Pro zemský povrch lze z rovnice 21 odvodit vztah pro intenzitu přímého slunečního záření na zemském povrchu, tedy pro $z = 0$:

$$I = I_0 \exp(-m \int_0^\infty b_{ex} dz)$$

rovnice 25: Bouguerův vzorec pro intenzitu přímého slunečního záření na zemském povrchu.

kde:

- I je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu, tedy na hladině o vertikální souřadnici $z=0$ [W/m^2]
- I_0 je intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry [W/m^2]
- m je optická hmota
- b_{ex} je koeficient extinkce (zeslabení), $b_{ex} = b_r + b_a$, kde b_r je koeficient rozptylu a b_a je koeficient absorpce

Pokud zavedeme označení:

$$f = \exp(-\int_0^\infty b_{ex} dz)$$

rovnice 26: Koeficient propustnosti atmosféry.

získáme druhý Bouguerův vzorec:

$$I = I_0 \cdot f^m$$

rovnice 27: Bouguerův vzorec pro intenzitu přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům.

kde:

- I_0 je intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry [W/m^2]
- f je koeficient propustnosti atmosféry
- m je optická hmota

Z výše uvedené rovnice 27 plyne, že pro $m = 1$ (tj. sluneční paprsky jsou kolmé k horizontálnímu zemskému povrchu), je koeficient propustnosti atmosféry se rovná poměru intenzity přímého slunečního záření na zemském povrchu a na horní hranici atmosféry.

Vztah, který ukazuje rovnice 27 a následně rovnice 37, však nelze přímo použít pro přirozené sluneční záření, protože zeslabování v atmosféře, a tím i koeficient propustnosti f se mění v závislosti na vlnové délce. Sluneční záření se při svém průchodu ovzduším stává bohatším na ty vlnové délky, pro které je atmosféra propustnější. Koeficient propustnosti f proto roste se zvětšující se délkou dráhy záření, a tudíž je funkcí optické hmoty m .

Při výpočtu podle výše uvedených vztahů lze tuto skutečnost zohlednit rozdělením slunečního spektra na dostatečně úzké intervaly, ve kterých je možné považovat záření za monochromatické, a výsledné dílčí hodnoty f resp. Q_{P0} sečíst.

Např. podle literatury [5], která vychází z Kondratěva (1954), lze pro orientační výpočty použít celou řadu empiricky nebo poloempiricky odvozených vztahů pro vyjádření závislosti koeficientu propustnosti f ve vztahu k přirozenému slunečnímu záření na optické hmotě m , případně na

základě aktinometrických měření úhrnů přímého slunečního záření určují efektivní koeficient propustnosti f_{ef} , po jehož dosazení místo f lze z dole uvedené rovnice 37 získat správné hodnoty denního úhrnu O_{p0} . Přibližně lze tvrdit, že hodnoty koeficientu propustnosti pro přirozené sluneční záření se při bezoblačné obloze nejčastěji nalézají v intervalu hodnot $(0,6; 0,8)$.

Z kvazi empirického vztahu například vychází Cihelka (1994) v literatuře [8], kde je míra zmenšení intenzity slunečního záření definována Linkeho vztahem jako **součinitel znečištění** (zakalení) atmosféry Z :

$$Z = \frac{\ln I_* - \ln I_n}{\ln I_* - \ln I_c}$$

rovnice 28: Linkeho vztah pro koeficient znečištění ovzduší.

kde:

I_* je solární konstanta [W/m^2]

I_n je intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při daném znečištění ovzduší [W/m^2]

I_c je intenzita záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům při dokonale čistém ovzduší [W/m^2]

Součinitel znečištění atmosféry závisí v tomto případě na obsahu příměsí ve vzduchu, ale také na atmosférickém tlaku (nadmořské výšce). Odstupňování průměrných měsíčních hodnot součinitele Z je nezbytné zejména v případech, kdy je potřeba určit intenzitu slunečního záření, např. při výpočtech maximální tepelné zátěže klimatizovaných místností, atd.

Měsíc	Horské oblasti	Venkov	Města	Průmyslové oblasti
I	1,5	2,1	3,1	4,1
II	1,6	2,2	3,2	4,3
III	1,8	2,5	3,5	4,7
IV	1,9	2,9	4,0	5,3
V	2,0	3,2	4,2	5,5
VI	2,3	3,4	4,3	5,7
VII	2,3	3,5	4,4	5,8
VIII	2,3	3,3	4,3	5,7
IX	2,1	2,9	4,0	5,3
X	1,8	2,6	3,6	4,9
XI	1,6	2,3	3,3	4,5
XII	1,5	2,2	3,1	4,2
Roční průměr	1,89	2,76	3,75	5,00

tabulka 2: Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší v podmínkách střední Evropy [8].

Pro intenzitu přímého slunečního záření lze potom podle Cihelky použít následující vztah, který je možné srovnat se vztahem z rovnice 25.

$$I = I_0 \cdot \exp\left(-\frac{Z}{\xi}\right)$$

rovnice 29: Intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu kolmou ke slunečním paprskům [8].

kde:

I je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům [W/m^2]

- I_0 je intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry, podle Cihelky lze použít v aproximaci přímo sluneční konstantu I_* [W/m^2]
- Z je koeficient znečištění ovzduší
- ξ je součinitel závisející na výšce Slunce na obzoru a na nadmořské výšce daného místa

Podle Cihelky [8], který vychází z Heidla a Kocha (1976) je možné ξ vyjádřit vztahem:

$$\xi = \frac{9,38076 \cdot (\sin \alpha_s + \sqrt{0,003 + \sin^2 \alpha_s})}{2,0015 \cdot (1 - z \cdot 10^{-4})} + 0,91018$$

rovnice 30: Součinitel ξ podle Heidla a Kocha.

kde:

- ξ je součinitel závisející na výšce Slunce na obzoru a na nadmořské výšce daného místa
- α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem [$^\circ$]
- z je nadmořská výška daného místa [m]

Přičemž intenzitu slunečního záření na obecně položenou plochu, jejíž poloha je určena azimutem α_N a úhlem sklonu β , je možné určit z rovnice 8, kde ϑ je úhel dopadu slunečních paprsků na osluněnou plochu podle rovnice 11.

$$J_p = I \cdot \cos \vartheta$$

rovnice 31: Intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu P .

kde:

- I je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na jednotkovou plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům [W/m^2]
- ϑ je úhel, který svírá normála osluněné plochy s vertikálním směrem paprsků podle rovnice 11 [$^\circ$]

Intenzitu difúzního záření na obecně položenou plochu je možné podle [8] přibližně stanovit z následující rovnice 32. Vlnová délka rozptýleného záření se nemění, proto je stejná u přímého i difúzního záření

$$J_{p\text{dif}} = \frac{1}{2} \left[(1 + \cos \beta) \cdot J_{\text{dif}} + A \cdot (1 - \cos \beta) \cdot (J + J_{\text{dif}}) \right]$$

rovnice 32: Přibližný vztah pro intenzitu difúzního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu.

kde:

- $J_{p\text{dif}}$ je intenzita rozptýleného slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu [W/m^2]
- J je insolace, intenzita přímého slunečního záření na horizontálním zemském povrchu viz rovnice 7 [W/m^2]
- J_{dif} je intenzita rozptýleného slunečního záření na horizontálním zemském povrchu [W/m^2]
- β je úhel sklonu obecně položené osluněné plochy od vodorovné roviny [$^\circ$]
- A je albedo, reflexní schopnost okolních ploch pro sluneční paprsky podle [8] je $A \in \langle 0,15-0,25 \rangle$, většinou $A=0,2$

Přitom pro J_{dif} platí podle [8] vztah:

$$J_{dif} = 0,33 \cdot (I_0 - I) \cdot \sin \alpha_s$$

rovnice 33: Intenzita rozptýleného slunečního záření na horizontálním zemském povrchu [W/m²].

kde:

- I je intenzita přímého slunečního záření na zemském povrchu na plochu orientovanou kolmo ke slunečním paprskům [W/m²]
- I_0 je intenzita přímého slunečního záření při vstupu do atmosféry, podle Cihelky lze použít v aproximaci přímo sluneční konstantu I_0 [W/m²]
- α_s je úhlová výška Slunce nad ideálním geometrickým obzorem [°]

Rozptýlené záření dopadá na osluněnou plochu i v době, kdy je obloha zatažena oblaky a Slunce přímo nesvítí, tím se zmenšuje odraz paprsků od okolí, ale zvětšuje se rozptyl v atmosféře. Proto je možné v jistém přiblížení při zatažené obloze počítat intenzitu rozptýleného záření stejně jako při jasné obloze podle vztahu z rovnice 33. [8]

4.2.4. Globální sluneční záření a albedo zemského povrchu

Sluneční záření, které dopadá na plochu pod vrstvou atmosféry, se skládá z přímého a z rozptýleného záření. Množství celkového slunečního záření dopadajícího za jednotku času na jednotku plochy horizontálního zemského povrchu se nazývá **globální sluneční záření** a je dáno algebraickým součtem intenzity přímého a intenzity difúzního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu [5]:

$$J_G = J + J_{dif}$$

rovnice 34: Intenzita globálního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu.

kde:

- J je insolace, intenzita přímého slunečního záření na horizontálním zemském povrchu viz rovnice 7 [W/m²]
- J_{dif} je intenzita rozptýleného slunečního záření na horizontálním zemském povrchu [W/m²]

Podobným způsobem lze získat vztah pro intenzitu celkového slunečního záření na obecně položenou plochu [8].

$$J_{GP} = J_P + J_{Pdif}$$

rovnice 35: Intenzita globálního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu.

kde:

- J_P je intenzita přímého slunečního záření na obecně položenou plochu viz rovnice 31 [W/m²]
- J_{Pdif} je intenzita rozptýleného slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu [W/m²]

Množství energie, které získá jednotka plochy horizontálního zemského povrchu (případně obecně položenou plochou, absorbérem kolektoru) za jednotku času absorpcí slunečního záření je možné vyjádřit následovně:

$$J_A = J_G \cdot (1 - A_Z) \vee J_{AP} = J_{GP} \cdot (1 - A_P)$$

rovnice 36: Měrný tepelný tok zachycený zemským povrchem (případně obecně položenou plochou).

kde:

A_z je albedo zemského povrchu

A_p je albedo příslušného povrchu plochy (absorbéru kolektoru)

J_{GP} je intenzita globálního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu [W/m^2]

J_G je intenzita globálního slunečního záření na horizontálním zemském povrchu [W/m^2]

Albedo libovolného povrchu je obecně definováno jako poměr množství záření jím odraženého a na něj dopadnutého. Albedo u některých typů zemského povrchu může dosahovat vysokých hodnot, např. čerstvá sněhová pokrývka odráží až 90% z dopadajícího slunečního záření, což například v horských oblastech může významně zvyšovat intenzitu difúzního záření.

Typ povrchu	Extrémní hodnoty albeda	Typické hodnoty albeda
Štěrk a kamení	0,04 - 0,25	0,12
Písek	0,20 - 0,40 (0,29-0,35)	0,30
Kultivovaná půda	0,20 - 0,30	0,25
Hlinitá půda	0,20	0,20
Černozem	0,05-0,12	0,10
Obilná pole	0,15-0,25	0,20
Strniště	0,12-0,17	0,15
Louky	0,18-0,30	0,24
Zelená vegetace	0,15 - 0,25	0,20
Čerstvý sníh	0,70 - 0,90	0,80
Starý sníh	0,30 - 0,70	0,55
Vodní hladina		
- Slunce v zenitu		0,05
- Slunce u horizontu		0,20

tabulka 3: Hodnoty albeda pro některé druhy zemského povrchu, [5], [75].

4.2.5. Úhrny přímého, rozptýleného a globálního slunečního záření

Při průchodu slunečního záření reálnou atmosférou dochází k absorpci a k rozptylu záření, proto je potřeba na zemském povrchu rozlišit úhrny přímého a rozptýleného (difúzního), případně globálního slunečního záření.

Z rovnice 19 a rovnice 27 je možné vyjádřit denní úhrny přímého slunečního záření při jasné obloze:

$$Q_0 = \frac{\tau}{2\pi} I_* \frac{R_0^2}{R^2} \int_{-\omega_0}^{\omega_0} f^m \cdot (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) d\omega$$

rovnice 37: Denní úhrny přímého slunečního záření při jasné obloze na jednotkovou plochu horizontálního zemského povrchu.

kde:

I_* je solární konstanta [W/m^2]

R_0 je střední vzdálenost Země od Slunce [km]

R je okamžitá vzdálenost Země od Slunce [km]

f je koeficient propustnosti atmosféry

m je optická hmota

τ je doba 24 hodin vyjádřená ve stejných jednotkách jako t

δ je deklinace Slunce - sluneční deklinace [$^\circ$]

φ je zeměpisná šířka [°]
 ω je hodinový úhel Slunce [°]

Výše uvedeným způsobem lze určit **maximální možný denní úhrn přímého slunečního záření**, tedy **denní úhrn přímého slunečního záření Q_{p0} v případě celodenně jasné oblohy**. Podle [5] bude v případě výskytu oblačnosti skutečný denní úhrn přímého slunečního záření Q menší než Q_0 . Za předpokladu přímé úměrnosti jej lze vyjádřit lineárním vztahem:

$$Q = l \cdot Q_0$$

rovnice 38: Skutečný denní úhrn přímého slunečního záření.

kde:

Q je skutečný denní úhrn přímého slunečního záření v případě výskytu oblačnosti
 Q_0 je denní úhrn přímého slunečního záření v případě celodenně jasné oblohy
 l je bezrozměrná veličina, která závisí na průměrném pokrytí oblohy mraky $\bar{n}$, nebo na relativní době trvání slunečního svitu během uvažovaného dne $\bar{\tau}$

Průměrné pokrytí oblohy mraky $\bar{n}$ se vyjadřuje relativním způsobem jako část jednotky buď v osminách (v **synoptické** meteorologii zdánlivé plochy oblohy) nebo v desetinách (v **klimatologické** meteorologii zdánlivé plochy oblohy).

Relativní doba trvání slunečního svitu $\bar{\tau}$ je definována jako poměr délky doby, kdy Slunce během daného dne skutečně svítilo τ_{skut} a délky doby, po kterou by svítilo při celodenně jasné obloze τ_{teor} . Doba trvání skutečného slunečního svitu $\bar{\tau} = \tau_{\text{skut}} / \tau_{\text{teor}}$ se na meteorologických stanicích běžně měří slunoměry (heliografy).

Hodnotu l lze aproximovat pomocí následujících vztahů, přičemž poslední z nich se používá nejčastěji, protože odhad průměrného denního pokrytí oblohy oblaky i vyhodnocení údajů slunoměru jsou zatíženy poměrně značnými nepřesnostmi:

$$l = 1 - \bar{n} \vee \bar{\tau} \vee \frac{1}{2} \left[(1 - \bar{n}) + \bar{\tau} \right]$$

rovnice 39: Vztahy používané pro stanovení hodnoty l .

kde:

$\bar{n}$ je průměrné pokrytí oblohy mraky
 $\bar{\tau}$ je relativní doba trvání slunečního svitu během uvažovaného dne

Podobným způsobem jako denní úhrny přímého slunečního záření lze stanovit denní úhrny **rozptýleného (difúzního)**, případně **globálního** záření na jednotku plochy horizontálního zemského povrchu. Denní úhrn rozptýleného slunečního záření se uvažuje úměrný průměrnému množství oblaků v daný den na obloze, protože oblaka jsou největším činitelem způsobujícím rozptyl slunečního záření v atmosféře. Proto se v empirických vzorcích denní úhrn rozptýleného slunečního záření uvažuje úměrný (většinou lineárně) následujícím veličinám:

$$Q_{\text{dif}} \equiv \bar{n} \vee 1 - \bar{\tau} \vee \frac{1}{2} \left[\bar{n} + (1 - \bar{\tau}) \right]$$

rovnice 40: Závislost denního úhrnu difúzního záření na veličinách $\bar{n}$ a $\bar{\tau}$.

kde:

Q_{dif} je denní úhrn difúzního slunečního záření

Pro výpočet denních, případně měsíčních úhrnů globálního záření slunečního záření Q_G byla odvozena řada empirických vzorců viz literatura [5]. Podle Bednáře (1989) [5], který vychází z monografie Kondratěva (1954), je lze vyjádřit následujícím společným schématem:

$$Q_G = Q_{G0} \cdot (a + b \cdot l)$$

rovnice 41: Obecné schéma empirických vztahů pro denní úhrny globálního záření slunečního záření.

kde:

Q_{G0} je denní úhrn difúzního slunečního záření při stále jasné obloze

a, b jsou empirické konstanty, pro které platí, že $a+b=1$

l je hodnota, za kterou se dosazují veličiny podle rovnice 39

Příklady empirických vzorců pro výpočet denních úhrnů globálního záření slunečního záření podle jednotlivých autorů ukazují následující vztahy. Měsíční úhrny globálního slunečního záření z nich potom získáme vynásobením počtem dnů v jednotlivých měsících.

$$Q_G = Q_{G0} \cdot (0,235 + 0,765 \cdot \bar{\tau})$$

rovnice 42: Angströmvův empirický vzorec pro výpočet denních úhrnů globálního slunečního záření.

$$Q_G = Q_{G0} \cdot [0,29 + 0,71 \cdot (1 - \bar{n})]$$

rovnice 43: Kimballův empirický vzorec pro výpočet denních úhrnů globálního slunečního záření.

$$Q_G = Q_{G0} \cdot \left[(1 - c) + c \cdot \frac{1 - \bar{n} + \bar{\tau}}{2} \right]$$

rovnice 44: Savinův empirický vzorec pro výpočet denních úhrnů globálního slunečního záření.

kde:

Q_{G0} je denní úhrn globálního slunečního záření při stále jasné obloze

$\bar{n}$ je průměrné pokrytí oblohy mraky

$\bar{\tau}$ je relativní doba trvání slunečního svitu během uvažovaného dne

c je empirická konstanta závislá na roční době a místě

Podle Cihelky [8] lze denní úhrny celkového slunečního záření na obecně položenou plochu vyjádřit následujícím kvazi-empirickým vztahem:

$$Q_{GP} = \bar{\tau} \cdot Q_{P0} + (1 - \bar{\tau}) \cdot Q_{Pdif}$$

rovnice 45: Celkový denní úhrn globálního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu.

kde:

Q_{P0} je denní úhrn přímého slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu

Q_{Pdif} je denní úhrn difúzního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu

$\bar{\tau}$ je relativní doba trvání slunečního svitu během uvažovaného dne

Hodnoty Q_{P0} a Q_{Pdif} získáme analogicky z rovnice 17, rovnice 31 a rovnice 32. Sčítáním denních úhrnů lze získat příslušné měsíční a roční úhrny. Energie úhrnů slunečního záření se vyjadřuje většinou v následujících jednotkách: [Wh/m²], [kWh/m²], [J/cm²], [J/m²], [kJ/m²], [MJ/m²].

4.2.6. Výkon a účinnost slunečního kolektoru

Energetickou účinnost slunečního kolektoru lze definovat jako poměr intenzity tepelného toku odebíraného z kolektoru k intenzitě slunečního záření dopadající na kryt kolektoru (případně absorbér). Energetická účinnost je dána:

- Velikostí optických ztrát, propustnost krytu kolektoru a kvalitou spektrálně selektivní vrstvy absorbérů.
- Velikostí tepelných ztrát do okolí, které jsou závislé na teplotním gradientu střední teploty teplosnosného média v kolektoru a teploty vzduchu.
- Vlivem použitých materiálů v konstrukci.

Účinnost kolektoru lze tedy vyjádřit vztahem:

$$\eta = \frac{J_{AP}}{J_{GP}} = (1 - A_p) - \frac{k_1 \cdot (t_p - t_{e1}) + k_2 \cdot (t_p - t_{e2})}{J_{GP}}$$

rovnice 46: Účinnost slunečního absorbérů (kolektoru).

kde:

- J_{AP} je měrný tepelný tok zachycený obecně položenou plochou na zemském povrchu [W/m^2]
 J_{GP} je intenzita globálního slunečního záření na obecně položenou plochu na zemském povrchu [W/m^2]
 A_p je albedo příslušného povrchu plochy (absorbérů kolektoru)
 k_1, k_2 je součinitel prostupu tepla na přední a zadní straně absorbérů (kolektoru) [$\text{W/m}^2\text{K}$], zadní strana bývá většinou izolována
 t_p je střední teplota absorpční plochy (teplonosného média)
 t_{e1}, t_{e2} je teplota okolního prostředí (vzduchu), pokud jsou kolektory umístěny volně v prostoru platí $t_{e1} = t_{e2}$

4.3. Sběr dat v rámci ÚEK

4.3.1. Radiační databáze ČHMÚ

Globální záření je celková energie slunečního záření dopadající po průchodu zemskou atmosférou na jednotku horizontální plochy zemského povrchu. Skládá se z přímého slunečního záření dopadajícího z nezastíněného slunečního kotouče a z difúzního záření oblohy. Více než 99 % globálního záření je přenášeno ve vlnovém rozsahu 290 - 4000 nm.

Stanice	Indikativ	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Nadmořská výška [m]	Začátek měření
Tušimice	438	13 20 E	50 23 N	322	01.01.1985
Churáňov	457	13 37 E	49 04 N	1122	01.01.1984
Kocelovice	487	13 50 E	49 28 N	519	01.01.1984
Ústí n. Labem	502	14 02 E	50 41 N	375	01.01.1984
Praha - Karlov	519	14 25 E	50 04 N	262	01.01.1984
Košetice	628	15 05 E	49 32 N	470	01.01.1984
Hradec Králové	649	15 50 E	50 11 N	285	01.01.1984
Svratouch	683	16 02 E	49 44 N	737	01.01.1984
Kuchařovice	698	16 05 E	48 53 N	334	01.01.1984
Luká	710	16 57 E	49 39 N	510	01.01.1984
Ostrava - Poruba	- 790	18 15 E	49 48 N	242	01.01.1984

tabulka 4: Stanice radiační sítě ČHMÚ v roce 1993.

Pozn.: Měření jsou prováděna pomocí pyranometrů ve spojení s integrátory, které jsou kalibrovány vůči Národnímu radiačnímu standardu ČR - k Angströmovu pyrhelionometru č. 565. Základní měřenou veličinou jsou hodinové sumy globálního záření integrované podle pravého slunečního času. Přesnost měření je na úrovni $\pm 2\%$ a jsou mezinárodně porovnatelné.

Měsíc Hodina	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Hodinové součty
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,2	4,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,4
5	0,0	0,0	0,0	4,2	54,4	92,1	62,8	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	234,4
6	0,0	0,0	4,2	75,4	247,0	347,5	272,2	121,4	37,7	0,0	0,0	0,0	1105,4
7	0,0	4,2	71,2	334,9	619,6	724,3	636,4	443,8	184,2	46,1	4,2	0,0	3068,9
8	20,9	67,0	297,3	736,9	1038,3	1105,3	1038,3	845,7	523,4	217,7	50,2	16,8	5957,8
9	83,7	226,1	649,0	1109,5	1444,5	1503,1	1461,2	1251,9	896,0	477,3	167,5	67,0	9336,8
10	226,1	435,4	954,6	1423,5	1737,5	1850,6	1766,8	1595,2	1235,1	720,1	326,6	188,4	12459,9
11	381,0	619,7	1163,9	1653,8	1930,1	2085,0	2001,3	1846,4	1490,5	875,0	439,6	326,6	14812,9
12	473,1	724,3	1297,9	1729,1	2009,7	2160,4	2118,5	1963,6	1616,1	983,9	498,2	376,8	15951,6
13	477,3	728,5	1318,8	1750,1	2001,3	2122,7	2110,2	1946,9	1574,2	950,4	481,5	368,4	15830,3
14	397,8	674,1	1193,2	1582,6	1821,3	1984,5	1988,7	1879,9	1381,6	841,6	393,5	297,3	14436,1
15	263,9	540,1	975,5	1360,7	1591,0	1762,6	1745,9	1586,8	1126,3	636,4	255,4	175,8	12020,4
16	113,0	326,6	678,3	1059,3	1306,3	1457,0	1394,2	1251,9	824,8	381,0	104,7	62,8	8959,9
17	25,1	117,2	364,2	674,1	950,4	1080,2	1046,7	870,8	477,3	134,0	25,1	4,2	5769,3
18	0,0	20,9	113,0	334,9	516,0	711,7	686,6	473,1	175,8	20,9	0,0	0,0	3052,9
19	0,0	0,0	12,6	79,5	234,5	360,1	343,3	159,1	25,1	0,0	0,0	0,0	1214,2
20	0,0	0,0	0,0	4,2	46,0	108,9	92,1	20,9	0,0	0,0	0,0	0,0	272,1
21	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Měsíční sumy	2461,9	4484,1	9093,7	13912,7	17547,9	19472,8	18777,8	16278,3	11568,1	6284,4	2746,5	1884,1	124512,3

tabulka 5: Průměrný denní chod hodinových součtů globálního záření v Hradci Králové v letech 1966-75, jejich průměrný denní úhrn v jednotlivých měsících roku [kJ/m²].

Hodina		04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20
Leden	Dh				0,6	7,7	19,2	29,1	34,5	34,5	29,8	20,2	9,0	0,7			
	STDDh				1,0	5,0	10,4	14,5	16,4	17,0	14,7	10,7	5,7	1,1			
Únor	Dh			0,1	6,3	19,6	33,7	44,7	51,6	51,1	46,3	35,8	22,1	8,0	0,2		
	STDDh			0,5	4,9	11,1	17,2	21,3	24,2	23,4	21,3	17,3	12,1	5,9	0,4		
Březen	Dh		0,1	6,0	21,7	40,3	56,5	68,0	73,0	71,9	66,1	56,0	41,1	23,3	6,9	0,1	
	STDDh		0,3	5,2	12,1	19,0	24,3	27,5	29,7	28,6	27,0	23,3	17,7	11,7	5,3	0,3	
Duben	Dh		5,6	22,5	43,4	60,4	75,6	85,1	88,1	89,8	84,3	73,8	59,2	40,9	21,6	5,2	
	STDDh		4,7	11,9	19,4	25,0	30,3	32,5	34,7	35,2	33,0	29,4	23,8	17,6	11,1	4,2	
Květen	Dh	2,8	18,7	36,8	55,3	71,5	84,8	94,3	98,8	99,0	94,6	83,9	70,7	53,2	34,3	16,4	2,7
	STDDh	2,7	9,5	16,2	23,7	30,2	34,9	37,5	39,6	38,6	36,7	31,9	27,0	21,5	14,8	8,6	2,6
Červen	Dh	7,0	24,9	43,9	62,5	79,2	92,9	102,5	110,5	109,5	104,9	94,3	79,9	62,4	43,3	24,0	7,0
	STDDh	4,4	11,7	18,7	26,2	33,1	38,8	40,9	42,3	41,3	41,1	36,1	31,5	25,1	18,4	11,2	4,3
Červenec	Dh	5,0	20,9	40,1	58,9	76,3	91,3	100,9	106,3	107,8	102,2	92,9	77,7	59,3	39,8	20,9	4,8
	STDDh	3,4	10,0	17,4	24,1	31,4	37,1	38,8	40,9	40,9	38,3	34,0	29,7	23,8	16,5	9,8	3,6
Srpen	Dh	0,4	10,3	29,1	47,5	64,4	77,2	87,6	92,5	92,0	87,6	77,5	63,5	46,4	27,4	9,4	0,4
	STDDh	0,8	6,2	12,9	19,2	25,3	31,4	34,9	35,9	35,6	33,3	29,8	24,6	18,6	12,3	6,1	0,8
Září	Dh		1,1	13,2	31,6	49,2	63,4	72,6	76,7	76,5	69,8	58,1	44,3	27,0	10,6	0,7	
	STDDh		1,6	7,8	14,4	21,3	26,5	29,0	30,8	29,6	27,8	23,5	17,9	12,7	7,2	1,2	
Říjen	Dh			1,7	13,7	28,2	40,2	48,7	53,1	51,6	46,1	36,5	24,0	10,0	1,2		
	STDDh			2,0	8,4	14,5	19,2	21,6	22,6	22,7	20,3	16,8	11,6	6,5	1,8		
Listopad	Dh				2,1	11,4	22,7	30,8	34,7	34,4	29,3	20,2	9,2	1,4			
	STDDh				2,3	7,6	13,0	15,9	17,5	17,7	15,5	11,7	6,1	1,8			
Prosinec	Dh				0,1	5,6	15,2	23,9	28,1	27,5	22,9	14,2	5,1				
	STDDh				0,2	3,6	8,3	11,8	13,8	13,3	11,1	7,5	3,3				

tabulka 6: Průměrné hodinové sumy rozptýleného slunečního záření Dh a standatní odchylky STDDh hodinových sum rozptýleného slunečního záření v J/cm² vztažené k 15. dni každého měsíce, 1964-1993.[75]

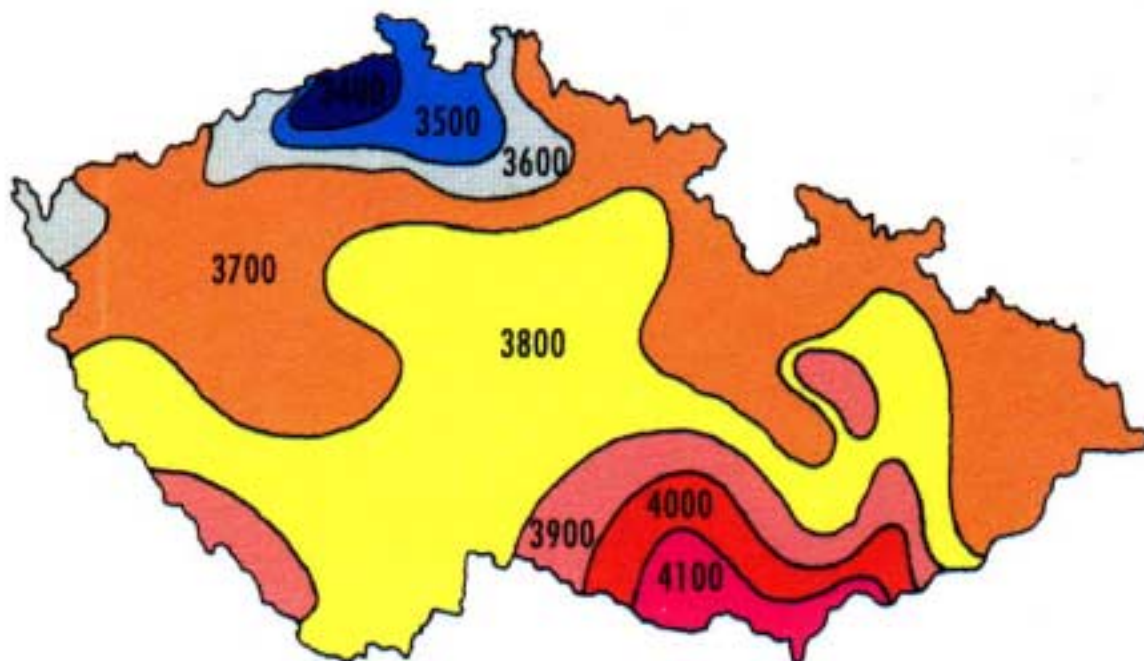
4.3.1.1. Rozdělení ČR podle možnosti využití solární energie

Průměrný počet hodin solárního svitu se v ČR pohybuje kolem 1 460 h/rok. Nejmenší počet hodin má severo-západ území. Směrem na jiho-východ počet hodin narůstá. Lokality se od sebe běžně liší v průměru o +/- 10%. V některých ojedinělých případech je odchylka vyšší.

Město	Měsíc/počet hodin v měsíci												CELKEM [h/rok]
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
Benecko	52	71	121	141	195	179	168	194	136	110	40	44	1 451
Brno	41	67	127	159	224	218	212	219	155	117	44	37	1 620
České Bud.	41	60	124	137	195	197	181	199	138	97	55	43	1 467
Hradec Kr.	31	61	120	149	217	206	192	211	153	107	45	29	1 521
Cheb	36	48	111	135	183	176	172	191	133	96	37	32	1 350
Jeseník	67	78	118	131	185	162	169	188	134	121	67	60	1 480
Jindřich. Hrad.	36	58	119	138	198	188	195	201	141	107	51	38	1 470
Karlovy Vary	40	55	121	145	187	187	207	207	142	115	41	26	1 473
Klatovy	37	61	119	136	194	199	198	208	139	97	53	44	1 485
Luhačovice	31	63	115	141	197	187	176	200	138	106	39	24	1 417
Olomouc	37	62	117	155	210	205	212	213	138	118	43	32	1 542
Opava	43	57	118	135	190	185	184	194	134	106	56	46	1 448
Ostrava	40	57	119	135	191	191	183	193	138	108	49	42	1 446
Pardubice	36	60	122	158	220	210	181	209	154	108	52	39	1 549
Plzeň	31	56	118	139	195	200	197	202	134	86	46	37	1 441
Praha	43	62	128	149	208	210	204	214	150	103	55	47	1 573
Prostějov	31	54	103	137	192	191	191	200	136	100	37	27	1 399
Přerov	37	61	112	150	209	208	200	203	142	106	37	31	1 496
Sedlčany	30	52	114	133	191	188	191	196	127	88	39	34	1 383
Strážnice	48	74	134	165	223	213	206	221	169	126	51	43	1 673
Šumperk	28	57	111	146	197	172	179	199	144	103	30	25	1 391
Telč	45	63	130	150	209	208	207	212	149	117	54	48	1 592
Teplice	21	36	92	127	172	155	155	177	115	64	27	15	1 156
Třeboň	43	64	126	140	196	191	197	203	141	107	58	48	1 514
Turnov	27	55	102	125	194	196	169	190	129	85	33	27	1 332
Ústí nad Lab.	22	40	93	126	179	159	163	181	118	71	28	17	1 197
Val. Meziříč.	36	60	114	133	194	190	181	199	140	108	43	33	1 431
Velké Meziř.	34	57	124	153	210	215	209	211	153	114	45	33	1 558
Vsetín	39	69	109	128	182	175	168	182	133	113	40	33	1 371
Vyšší Brod	54	70	126	133	178	181	185	194	140	105	59	52	1 477
Zábřeh n. M.	31	61	110	136	186	192	186	193	136	104	26	21	1 382
Žatec	30	53	121	143	199	196	202	205	138	88	46	33	1 454
Znojmo	50	71	138	164	226	217	215	227	166	131	58	52	1 715

tabulka 7: Průměrné měsíční sumy slunečního svitu vybraných měst v letech 1971-80, jejich průměrný úhrn v jednotlivých měsících roku [h] [76].

Velmi dobrou představu o možném využití solární energie dává následující mapka globálního solárního záření, které dopadá na vodorovnou plochu o velikosti 1 m² za rok viz. obrázek 9.



obrázek 9: Průměrné roční sumy globálního záření v MJm^{-2} [76].

Mapka neplatí pro oblasti se silně znečištěnou atmosférou. Zde je nutné počítat s poklesem globálního záření o 5 – 10%, v ojedinělých případech 15 – 20%. Pro oblasti s nadmořskou výškou od 700 do 2 000 m.n.m. je nutné počítat s 5% nárůstem globálního záření.

4.3.2. Zdroje dat pro odhad současného využití

Energie Slunce je v současné době v České republice využívána zejména v aktivních kapalinových solárních systémech, které jsou využívány jako decentralizované zdroje tepla, zejména k ohřevu teplé užitkové vody v rodinných domech, zemědělství a terciárním sektoru, k ohřevu vody v bazénech, v mnohem menší míře jsou využívány i pro přitápění či jako zdroj pro akumulaci tepla. V malé míře jsou využívány i teplovzdušné systémy. Další možností využití sluneční energie je její přímá přeměna na elektrickou energii ve fotovoltaických systémech. Fotovoltaické systémy jsou však zatím používány jen ojediněle jako systémy izolované od elektrické sítě a jejich přínos do celkové energetické bilance je v současnosti velmi nízký až zanedbatelný.

Vzhledem k decentralizovanému charakteru solárních zařízení a dostupnosti dat o těchto zařízeních je pro účely energetických generelů možno využít pouze odborných odhadů zpřesněných různými dalšími, více či méně přesnými, doplňujícími zdroji dat. Pro odhady současného využití sluneční energie (počty zařízení, počty kolektorů či kolektorová plocha) je možno využít dotazníkového sběru dat, případně znalosti místních podmínek v daném regionu či lokalitě. Pro odhad výroby energie v průměrných solárních zařízeních v podmínkách ČR lze jako vodítko vzít údaj cca 380 - 420 kWh/m^2 kolektorové plochy za rok. Tyto údaje je možno využít k odhadu, pokud jsou k dispozici pouze orientační údaje o počtu instalací (data ze sčítání lidu).

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
ČSÚ - údaje ze sčítání lidu, bytů a domů	4	2 (Celá ČR)	Údaje ze sčítání lidu, bytů a domů 1991 je možno využít pouze jako doplňující zdroj dat zejména vzhledem k tomu, že se jedná o data dosti zastaralá. Navíc jsou k dispozici pouze počty instalací zařízení pro využití sluneční energie bez dalších zpřesňujících parametrů. Po zpracování a publikaci výsledků sčítání lidu 2001 bude přesnost těchto dat
ČEA	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat z ČEA poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat ze SFŽP poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci programů státní podpory.
Dodavatel ské firmy	1 - 2	3 - 4 (pouze)	V případě, že klíčové dodavatelské firmy jsou ochotny poskytnout údaje o jimi instalovaných zařízeních (např. formou referenčních listů).

tabulka 8: Zdroje dat pro odhad současného využití sluneční energie (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

4.3.3. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu

Poměrně podrobná data o denním osvětlení a sluneční radiaci (přímé, rozptýlené a globální záření, doba slunečního svitu), zpracovaná na základě satelitních údajů jsou k dispozici zdarma na internetu na adrese <http://www.satel-light.com>.

Velice podrobná data na základě pozemních měření a pozorování je možno získat na základě údajů z radiční databáze ČHMÚ, jejichž příklady jsou uvedeny nahoře viz tabulka 5 a tabulka 7.

4.4. Metodické postupy pro účely ÚEK

4.4.1. Kritéria pro výběr vhodných lokalit

Při výběru lokality se daleko více než k vlastní lokalizaci v rámci území sledují její technicko – ekonomické ukazatele. Plocha pro umístění solárních jímáčů (kolektorů, PV článků) by měla splňovat následující kritéria:

1. Orientace na jih, případně s mírným odklonem podle [8] max. $\pm 45^\circ$.
2. Celodenní osvit Sluncem bez stínících překážek.
3. Možnost umístit kolektory s požadovaným sklonem, tj. $30 - 45^\circ$ k vodorovné rovině, což je pro celoroční provoz optimální. Podle [8] je pro zimní provoz výhodnější $60 - 90^\circ$.
4. U foto-termální přeměny co nejkratší potrubní rozvody.
5. U foto-termální přeměny pomocí kapalinových kolektorů je pro instalaci pozitivní vybavenost zásobníkovými ohříváči na TUV, proto jsou pro instalace vhodné zejména rodinné domky. Naproti tomu školy se jeví jako nevhodné, protože v době nejvyššího slunečního svitu bývají většinou nevyužívané.

6. V případě využití pasivních solárních prvků pro přitápění (vytápění) budov se sleduje:

- Maximální využití jižní strany budovy, jež musí být osluněná (bez stínících překážek), měla by mít co největší plochu, severní stěna by měla mít nejmenší plochu.
- Prvky pasivní solární architektury se umísťují na jižní stěnu, u jednodušších systémů to jsou např. velká okna pro zachycení solárního záření, u dokonalejších systémů je celá jižní stěna prosklená a za ní je teprve vlastní nosná a akumulární stěna s okny do místností, dveřmi, větracími kanály a pod.
- Je nutné zabezpečit akumulaci takto získaného tepla - obvykle do stavební konstrukce a zabezpečit rozvod teplého vzduchu do ostatních místností.
- Jižní stěna, prosklené plochy a další prvky musí být zkonstruovány tak, aby se zamezilo úniku tepla vedením a sáláním v době minima slunečního svitu (např. v zimě v noci).
- Je nutné zabezpečit zejména v letních měsících odvětrání jižních místností v budově a také zabezpečit systém clonění velkých prosklených ploch z důvodu přehřívání budovy.
- V ideálním případě využít přebytky tepla pro ohřev TUV (bazénu).

Vliv umístění solárního systému v konkrétní lokalitě (území) se projevuje:

1. Proměnným počtem hodin solárního svitu.
2. Intenzitou solárního záření, která se mění podle znečištění atmosféry (město, venkov, hory).
3. Tepelnými ztrátami kolektorů (ty se mění podle chodu ročních venkovních teplot a vlivu větru či jiných nepříznivých meteorologických jevů, zejména námrazy).

4.4.2. Metody odhadu fotoelektrické přeměny sluneční energie

U fotoelektrického využití slunečního záření v zastavěných plochách se definuje dle literatury [11] několik kategorií nižších potenciálů.

Potenciál místa je oproti teoretickému potenciálu snížen o plochy, které nelze použít pro jímání sluneční energie, počítá však stále i s plochami, které nejsou vůči slunečním paprskům optimálně orientovány. Podle literatury [11] a (Elektrizitätswirtschaft, Jg. 94, Heft 7) je pro ploché sluneční kolektory na jímání tepelného slunečního záření potenciál místa vyšší než pro fotoelektrické články, pro které lze použít hrubý odhad 8,6% dané výchozí plochy. Stanovení potenciálu místa vyžaduje rozbor konkrétní zastavěné plochy.

Teoretický **potenciál výroby elektřiny**, je v [11] omezen na místa, kde lze fotoelektrické články instalovat s ohledem na optimální orientaci ploch ke slunečnímu záření. Oproti potenciálu místa je nižší o cca 16,3%, pro jeho odhad lze tedy použít odhad 7,2% zastavěné plochy sídel.

Technický potenciál výroby elektřiny je omezen na plochy, kde lze fotoelektrické systémy instalovat s ohledem na stav sítě, možnosti připojení, atd. Pro takové odhady se používá hodnota roční sumy globálního záření (průměr pro celou Českou republiku např. 1 081 kWh/m²).

Podle údajů firmy Solartec lze použít následující klíčová čísla pro odhad výroby elektrické energie. **Jeden m²** solárního modulu s monokrystalickými články má výkon 110 W_p (špičkový výkon) při standardním osvětlení 1000 Wm⁻² a slunečním spektru AM 1,5. Ze solárního panelu s touto plochou je možné během jednoho roku získat až 70 – 100 kWh elektrické energie.

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok [Wh]
Energie [Wh/den]	80	138	213	302	383	390	408	360	265	179	83	60	87237

tabulka 9: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat ke spotřebě během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 W_p dle měsíců.

Z výše uvedeného plyne, že z jednoho instalovaného kW lze získat 636 - 909 kWh elektřiny. Horní mez odhadu však platí pro mimořádně slunná území a systémy s vyšší účinností.

Ekonomický potenciál výroby elektřiny je možné využít za současných ekonomických podmínek při srovnatelných výrobních nákladech na získanou elektřinu.

Největší překážkou v ČR jsou zatím vysoké pořizovací náklady a u systémů připojených na síť nízké výkupní ceny elektrické energie prodávané do sítě.

Základní přehled investičních nákladů fotovoltaických systémů pro rok 2000 je:

- grid - off 30 - 45 000.- Kč/m², (270 - 400 Kč/W_p)
- grid - on 23 - 35 000.- Kč/m², (200 - 350 Kč/W_p)

4.4.3. Metody odhadu fototermální přeměny sluneční energie

Z tabulky - tabulka 5 - vyplývá jednoznačný sezónní charakter slunečního záření, ze kterého vyplývá nutnost investic do sezónní akumulace tepla v případě, že chceme rovnoměrně rozdělit velké letní energetické do dalších měsíců. S ohledem na vysoké investiční náklady akumulacích systémů se častěji používá akumulace krátkodobá spolu se systémy dimenzovanými na okamžitou spotřebu tepla. To znamená, že za současných ekonomických podmínek připadají do úvahy systémy dimenzované pro přípravu TUV, které lze v případě energetických přebytků použít i pro vytápění.

4.4.3.1. Výchozí předpoklady

Využitelný potenciál sluneční energie bude v budoucnosti tvořen z převážné většiny solárním teplem pro ohřev TUV v obytných budovách [21], případně v kombinaci s využitím přebytečného tepla pro vytápění a provoz bazénu. V budoucnosti lze u novostaveb předpokládat vyšší výskyt nízkoenergetických solárních budov. Do úvahy proto připadá pouze využití slunečního záření aktivními systémy, např. ploché vodní kolektory, vakuové kolektory, trubicové vakuové kolektory, případně teplo-vzdušné kolektory.

Odhad využití slunečního záření pasivními solárními systémy (solární architektonické prvky) nebo zemědělskými solárními sušárnami nelze brát jako relevantní s ohledem na velmi individuální charakter aplikací a nejasný stav současného zemědělství. Na základě dostupných vstupních dat lze ve většině případů kvalifikovaně posoudit pouze potenciál pro solární ohřev TUV.

4.4.4. Metoda odhadu vycházející ze znalosti druhu vytápění

Z počtu obyvatel je možné stanovit potřebu tepla na výrobu teplé užitkové vody. V optimálním případě mohou solární systémy vyrobit 56% potřebného tepla na ohřev TUV, pro zbytek se uvažuje klasické palivo. Roční výroba slunečních kolektorů v našich podmínkách dosahuje přibližně 300 - 550 kWh m⁻² rok⁻¹, pro reálné odhady lze uvažovat průměrnou roční výrobu 380 - 420 kWh m⁻² rok⁻¹, která se s ohledem na dostupné naměřené údaje jeví jako obvyklá.

Takto vypočtená hodnota však nezohledňuje reálné podmínky, kdy není možné z důvodů místa a nevhodné orientace objektu (střechy) instalovat pole solárních kolektorů. V husté městské zástavbě s výškovými budovami je využití solární energie s rozumnými náklady a požadavky na plochu zcela nereálné. Pro odpočet budov nevhodných k využití solární energie lze použít zjednodušenou metodu vycházející ze statistické znalosti používané technologie výroby TUV a z předpokladu, že v typických městských domech převládá centralizovaná dodávka TUV.

Z pramenů „Mikrocenzus Eurostat / Phare 1996“ vyplývá na základě provedeného statistického zjišťování vybavení domácností elektrospotřebiči, že ze 6 000 dotazovaných domácností využívá k ohřevu TUV elektrický zásobník 38,77 %. Zbytek bude připadat na jiné technologie (CZT a průtokové ohřivače). To jsou technologie hůře kombinovatelné se solárními systémy. Ve výpočtech lze uvažovat např. s 61% využitím solární technologie (zohlednění skutečnosti, že se

solární systémy mohou připojit i na ostatní systémy – třeba CZT). U větších aglomerací lze počítat pouze s 33 – 39% využitím.

Pro odpočet nevhodně orientovaných střech lze uvažovat koeficient 0,4, u větších aglomerací 0,3. Z pohledu využití solární energie bude negativním vlivem možné narušení architektonického vzhledu budov a zejména budov památkově chráněných. Současné využití lze zjistit na základě údajů z místního šetření v terénu.

4.4.5. Metoda odhadu vycházející z počtu budov

Metoda využívá podobného způsobu uvedené výše pro fotoelektrické panely. Odhad vychází z počtu budov na něž lze umístit určitý počet kolektorů. Počet kolektorů vychází z možnosti využití, typu budovy a počtu pater. Velké budovy jsou téměř výhradně zásobované centrálně nebo mají vlastní kotelnu. Využití solární energie je zde málo pravděpodobné jak technicky, tak majetkoprávně. Na zahrnutí vlivu orientace budovy je možné vytvořit koeficient „Redukce na polohu a využití“, do kterého zahrneme podle typu lokality jednotlivé odpočty. Příklad ukazuje tabulka 48.

5. Energie větru

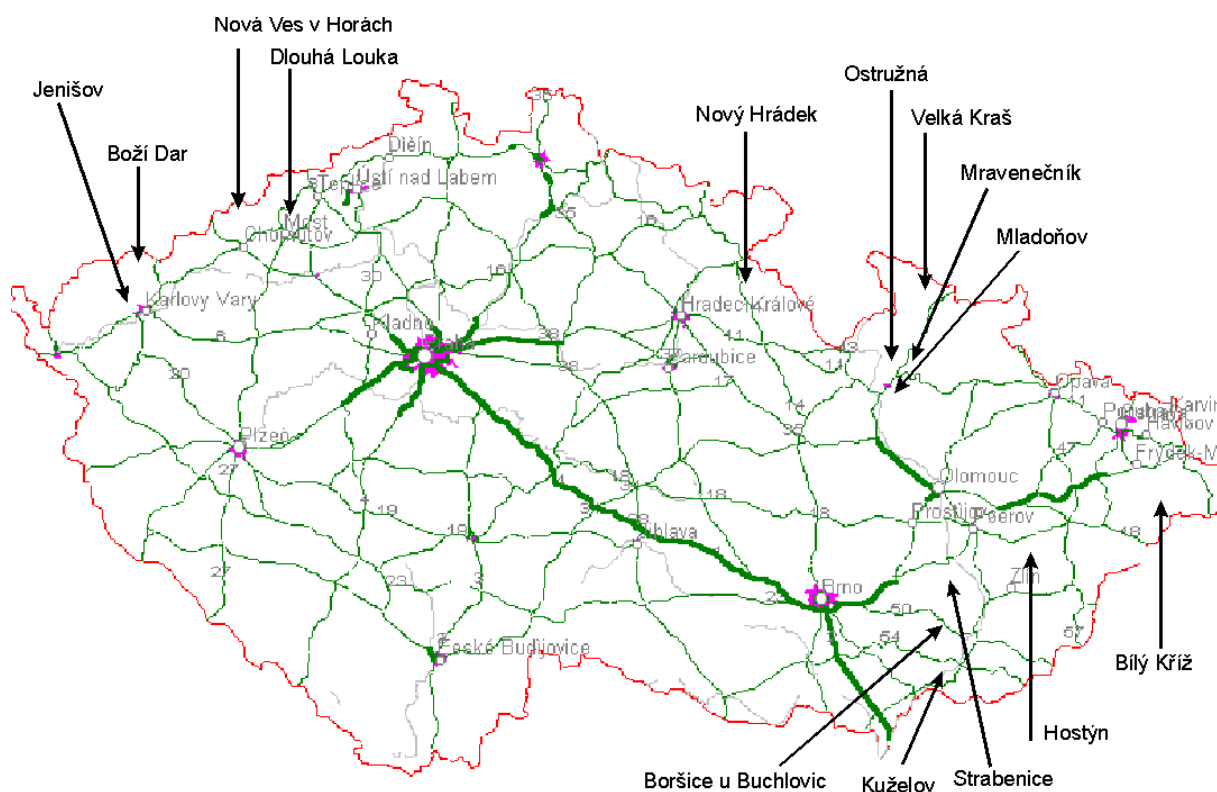
Větrná energie se nachází na druhém místě pomyslného žebříčku velikosti dostupného potenciálu obnovitelných zdrojů energie v ČR. Česká republika je vnitrozemský stát s typicky kontinentálním klimatem, který se projevuje významným sezónním kolísáním rychlosti větru. Příčinou větru je zejména globální vzdušné proudění typické pro severní a střední Evropu.

Větrná energie se jako důsledek dopadající sluneční energie projevuje na každém místě, ale opět se jedná o nestálý energetický zdroj, který je většinou doplňkem klasických zdrojů energie. Nevýhodou je obecná závislost na počasí a denní době, ročním období.

Možnosti využití větrné energie je opět dvojí:

- přímá přeměna energie větru na elektřinu,
- přímá přeměna energie větru na mechanickou práci, např. čerpání vody.

Z výše zmíněného rozdělení v zásadě vyplývají možnosti odhadu skutečné využitelnosti energie větru, která kromě vhodných lokalit je závislá zejména na investiční náročnosti a ekonomické efektivitě.



obrázek 10: Lokalizace větrných elektráren v České republice.

5.1. Možnosti využití

5.1.1. Typy větrných motorů

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na **vztlakové** a **odporové**. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s **vodorovnou osou otáčení**, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na podobném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel (tzv. **americký větrný motor**). Při stejném průměru rotoru v zásadě platí nepřímá závislost počtu

lopatek a frekvence otáčení. Moderní elektrárny mají obvykle tři lopatky, byly však vyvinuty i typy s jediným nebo se dvěma listy.

Existují také elektrárny se **svislou osou otáčení**, některé pracující na odporovém principu (typ Savonius) nebo na vztakovém principu (typ Darrieus). Výhodou elektráren pracujících na vztakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti. Výhodou je, že není třeba natáčet do směru převládajícího větru. Elektrárny se svislou osou otáčení se v praxi příliš neuplatnily, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost.

Malé větrné elektrárny (minielektrárny s výkonem do 5 kW) jsou výhodné především v místech bez přípojky elektrického proudu, slouží především jako zdroj nízkého napětí pro rekreační objekty, rodinné domy, horské chaty, apod.

Proud se obvykle vyrábí pomocí synchronních generátorů buzených permanentními magnety, s výstupním napětím 12 nebo 24 V, které napájí malé spotřebiče (světla, TV, chladničky). Jako záložní zdroj se obvykle používá sada akumulátorů. Elektrárny lze doplnit měničem, který dodává střídavý proud o napětí 220 V. Elektřinu lze použít i k ohřevu teplé užitkové vody, ale obvykle je výhodnější k tomuto účelu použít jiný obnovitelný zdroj, např. sluneční kolektory.

Elektrárny velkých výkonů (300 až 3000 kW) jsou určeny k dodávce energie do veřejné rozvodné sítě. Mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V a nemohou pracovat jako autonomní zdroje energie. Existují i elektrárny se speciálním mnohapolovým generátorem, který nevyžaduje převodovou skříň. Některé elektrárny mají konstantní otáčky, modernější typy mají obvykle dvě rychlosti otáčení, případně proměnné otáčky podle okamžité rychlosti větru.

Velké elektrárny mají průměr rotoru 40 až 60 m a věž o výšce více než 40 metrů. Trendem poslední doby je zvyšování výkonu větrných elektráren a zvyšování stožárů. Nejnovější zařízení instalovaná ve světě pracují s generátorem o výkonu až 3 MW, který je nesen tubusem dosahujícím výšky kolem 100 metrů. Jedním důvodem jsou nižší měrné náklady na energii vyrobenou pomocí většího zařízení, druhým důvodem je optimální využití lokalit, kterých je omezený počet. Instalace menšího zařízení zabere výhodnou lokalitu na dobu životnosti elektrárny (cca 20 let). K zefektivnění provozu a snížení nákladů na projektování a výstavbu se velké elektrárny sdružují do skupin (obvykle 5 až 30 elektráren) tzv. **větrných farem**.

U nových typů je konstrukce podřízena velmi přísným požadavkům omezení hlučnosti, a to jak mechanické (převodová skříň, generátor), tak aerodynamické (rotor). To umožňuje snížení hlučnosti na úroveň požadovanou hygienickými předpisy, t.j. 45 dB(A) v obydlených oblastech. Této hladiny je u většiny moderních typů dosaženo již ve vzdálenosti kolem 200 m od elektrárny.



obrázek 11: Větrná farma na Mravenečníku. Foto Kappel.

5.2. Metodické postupy posuzování potenciálů

5.2.1. Statistické veličiny větru

Vítr je proudění vzduchu, které vzniká tlakovými rozdíly mezi různě zahřátými oblastmi vzduchu v zemské atmosféře. Pokud není uvedeno jinak rozumí se (i v odborné literatuře) pod pojmem vítr pouze horizontální složka proudění vzduchu.

Rychlost větru, která je nejdůležitějším údajem při využívání energie větru, je úměrná **velikosti tlakového rozdílu** a udává se převážně v m/s. Poblíž zemského povrchu je toto proudění ovlivňováno drsností povrchu, ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Vlivem Coriolisovy síly způsobené rotací Země se směr ustaluje do směru zemských rovnoběžek.

Směr větru dává údaj odkud vítr vane, uvádí se převážně v desítkách stupňů azimutu, případně v meteorologii závaznými anglickými zkratkami. Rozlišujeme tedy 36 směrů větru: 01, 02, 03, ..., 35, 36. Údaj 00 označuje bezvětří (calm). Například severní vítr (N - north) 36, jižní vítr (S - south) 18, východní vítr (E - east) 09, západní vítr (W - west) 27. Případně se údaje o směru větru převádějí na šesnásobnou číselnou stupnici podle následující tabulky:

NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	N	Calm
02	04	07	09	11	13	16	18	20	22	25	27	29	31	34	36	00

tabulka 10: Klíč převodu anglického značení směru větru na číselnou stupnici.

5.2.2. Měření rychlosti a směru větru [14], [55]

Proudění vzduchu je vždy **turbulentní**, což se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. Výsledky měření směru a rychlosti větru jsou proto průměrované za určitý časový interval, tzv. **vzorkovací dobu**. Zejména se jedná o běžně dostupná měření na meteorologických stanicích. S ohledem na využití energie větru se při praktickém hodnocení a posuzování větrných podmínek používá následujících údajů a metod. Měření rychlosti větru se provádí nejčastěji miskovými **anemometry**.

Měření rychlostí a směru větru se spolu s jinými klimatickými faktory provádí v ČR sítí cca 200 meteorologických stanicích ČHMÚ, včetně stanic synoptických a klimatologických. Výsledky měření jsou odborně kontrolovány, archivovány a jsou k dispozici za úhradu buď ve formě nezpracovaných dat nebo ve formě výsledků analýzy těchto dat prováděných pro různé účely.

Pro tato měření jsou mezinárodně přijaty standardy, pro rychlost a směr větru je to výška 10 m nad zemským povrchem (pokud ji není možno dodržet jsou údaje dohodnutým způsobem přepočítávány na tuto výšku).

Bohužel jednotlivé metody nejsou plně srovnatelné, na některých stanovištích jsou mezi naměřenými hodnotami kontinuálním měřením a vypočtenými průměrnými rychlostmi při měření v klimatických termínech rozdíly 10 - 20%.

5.2.2.1. Měření v synoptických termínech

Výsledkem jsou **synoptická hlášení**, což jsou údaje získané na stanicích s profesionální obsluhou v tzv. **synoptických termínech** světového času, kterých je celkem 8 denně a který je o hodinu pozadu oproti našemu času střeoevropskému a o dvě hodiny pozadu proti našemu střeoevropskému letnímu času. V našich podmínkách se tak synoptická pozorování konají podle následující tabulky:

GMT [H]	0	3	6	9	12	15	18	21
SEČ [h]	1	4	7	10	13	16	19	22
SELČ [h]	2	5	8	11	14	17	20	23

tabulka 11: Synoptické termíny podle světového času a střeoevropského času platného v ČR.

Synoptická pozorování se konají po celém světě současně, pro usnadnění dopravy údajů se kódují do tvaru číselné depeše SYNOP. Údaje o směru (udávají se v desítkách stupňů azimutu) a rychlosti (udávají se v celých m/s) větru se získávají z průměrné hodnoty za desetiminutové pozorování, které bezprostředně předchází synoptickému pozorovacímu termínu. V případě, že desetiminutový údaj obsahuje diskontinuitu v charakteristikách větru, používá se údaj za tu část uvedeného desetiminutového intervalu, která následuje bezprostředně po diskontinuitě. Doba měření a hodnocení je tak o tuto část zkrácena.

5.2.2.2. Měření v synoptických klimatologických termínech

Měření a pozorování v **klimatologických termínech** se provádějí v 7, 14, 21 h místního středního slunečního času, který se na 15° východní zeměpisné délky shoduje se SEČ a směrem na východ od 15° východní zeměpisné délky předchází SEČ o 4 min. na každý stupeň zeměpisné délky. Směrem na západ od 15° východní zeměpisné délky je oproti SEČ pozadu o 4 min. na každý stupeň zeměpisné délky. Což znamená, že měření na různých stanicích nejsou současná, pokud se nejedná o stanice ležící na též poledníku.

Jedná se o tzv. mannheimské hodiny, které poprvé mezinárodně zavedla Falcká meteorologická společnost koncem 18. stol. v Manheimu. Měření v klimatologických termínech je časově méně náročné a běžné na většině meteorologických stanic, zejména obsluhovaných dobrovolnými pozorovateli - amatéry. Většina stanic je vybavena přístroji pro měření rychlosti

větru, na některých stanicích se však donedávna odhadovala i pomocí Beaufortovy stupnice účinků větru. Směr větru se určuje větrnou směrovkou.

Rychlost a směr větru podle pozorování v klimatologických termínech jsou střední hodnoty za období 4 minuty. Ty se skládají ze dvouminutového pozorování před začátkem jiných pozorování a dvouminutového pozorování po ukončení jiných pozorování. Vychází se z předpokladu, že údaje o větru takto prováděnou metodikou jsou shodné nebo velmi blízké údajům za desetiminutovou nepřerušovanou dobu, která se používá při synoptických měřeních. Rychlost větru se udává v m/s, směr větru se však na rozdíl od synoptických měření udává v šestnáctidílné číselné stupnici viz. tabulka 10.

5.2.2.3. Měření anemografy

Měření anemografem se vyhodnocuje většinou v hodinových intervalech. Vyčísľují se střední hodnoty rychlosti a směru větru za dobu 60 minut, celkem 24 x denně. S ohledem na tradiční dělení stupnic na anemografech se rychlost udává v km/h a směr větru v šestnáctidílné stupnici jako při měření v klimatologických termínech.

5.2.3. Rychlostní profil větru a vliv drsnosti povrchu

V důsledku tření se spodní vrstvy vzduchu pohybují pomaleji. Tento průběh bývá v praxi aproximován mocninnou nebo logaritmickou funkcí. Pro svou zřejmou jednoduchost bývá v inženýrské praxi používán spíše mocninový vztah, který znám i z většiny dostupné literatury a dostatečně dobře vystihuje vertikální profil rychlosti větru ve vrstvě vysoké až několik set metrů v širokém oboru hodnot vertikálního teplotního gradientu. Pro rovný terén, kde je závislost mezi rychlostí a výškou ovlivňována pouze drsností povrchu lze použít vztah:

$$\overline{w}_h = \overline{w}_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^p$$

rovnice 47: Závislost mezi rychlostí větru a výškou.

kde:

- $\overline{w}_0$ je střední rychlost větru ve výšce h_0 [m/s]
- $\overline{w}_h$ je vypočítaná rychlost větru [m/s]
- h_0 je výška, ve které se provádí měření [m]
- h je výška umístění osy rotoru [m]
- p je exponent závisející na drsnosti povrchu, vertikálním profilu teplot a výšce nad zemským povrchem, vyjadřuje vliv atmosférické turbulence, $p \in \langle 0, 1 \rangle$, orientačně lze předpokládat pro vrstvu 0 - 2 m hodnotu $p=0,25$, pro vrstvu 2 - 16 m hodnotu $p=0,22$ a pro vrstvu 16 - 250 m hodnotu $p=0,20$

Pozn.: Pozor na rozdíl mezi výškou nad zemským povrchem a výškou nad terénem.

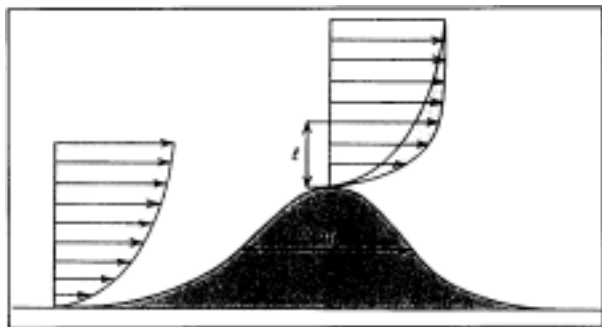
Druh povrchu	p
a - hladký povrch, vodní hladina, písek, led, bláto	0,10 - 0,14
b - rovinatý terén s nízkým travnatým porostem, ornice, zasněžený terén	0,13 - 0,16
c - vysoký travnatý porost, nízké obilné porosty	0,18 - 0,19
d - porosty vysokých kulturních plodin, nízké lesní porosty	0,21 - 0,25
e - vysoké husté lesy	0,28 - 0,32
f - předměstí, vesnice, malá města	0,40 - 0,48

tabulka 12: Orientační koeficienty pro extrapolaci rychlosti větru pro vrstvu více než 16 m zemským povrchem.

Je dobré si uvědomit, že koeficienty v tomto přiblížení platí pro rovinný terén, a tudíž odrážejí vliv drsnosti podloží vzdušného proudu, ale nikoliv vliv členité orografie. Dále je nutné poznamenat, že koeficienty se mění i s výškou vegetace, sněhu, atd. To znamená jejich závislost na ročním období. Je dobré si uvědomit, že drsnost povrchu může být různá i z různých směrů.

5.2.3.1. Topografie a orografie

Při výběru lokality má velký vliv tvar terénu. Při proudění vzduchu přes vertikálně členitý terén se v některých místech rychlost proudění zvyšuje a v jiných snižuje. V praxi je obtížné brát v úvahu celou soustavu překážek, ale pro ozřejmění je možno brát v úvahu samostatně stojící „ideální“ horu viz .



obrázek 12: Vertikální profily větru před a nad idealizovaným kopcem. l je výška, v níž zesílení rychlosti dosahuje nejvyšší hodnoty [32].

Pro výpočty v komplexním terénu byl v ÚFA vyvinut matematický model PIAPBLM, který lze použít pro simulaci složitých modelů. Vhodnou pomůckou je i větrný atlas ČR, který je k dispozici ve formě počítačového programu VAS. Matematicky získané výsledky je doporučeno ověřit dlouhodobým měření v různých výškách nad terénem.

5.2.3.2. Turbulence a výškový gradient rychlosti

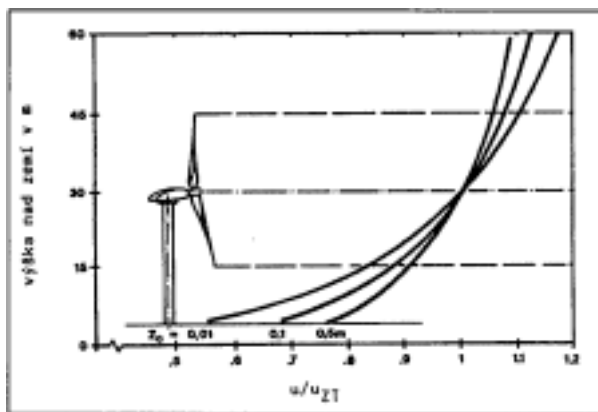
Pro praktické využití energie větru jsou zajímavé výšky 40 - 100 metrů nad zemským povrchem. V tomto rozmezí závisí rychlost větru zejména na tvaru okolního terénu. Čím hladší je jeho povrch, tím vyšší je rychlost větru. Zalesněná krajina klade větru v přízemní vrstvě odpor, který se projevuje tvorbou turbulence.

Intenzita turbulence i výškový gradient rychlosti jsou velmi závislé na drsnosti a charakteru povrchu v uvažované konkrétní lokalitě a mohou se měnit v průběhu roku. Jejich přesné určení je výpočtově velmi složité a nepříliš spolehlivé. Lepších výsledků je možno dosáhnout pomocí měření v daném místě v několika výškách nad terénem.

Místní turbulenci lze posuzovat z řady hledisek. Mezi běžné způsoby její kvantifikace patří intenzita turbulence, vyjádřená jako střední kvadratická odchylka od průměrné rychlosti větru. Maximální porybová rychlost je zaznamenávána Pitot-statickou trubicí s malou setrvačností. Pro konkrétní lokalitu je potřeba odhadnout maximální porybovou rychlost s jistou vzorkovací periodou. Potřebné vstupní údaje je potřeba získat z hydrometeorologických měření.

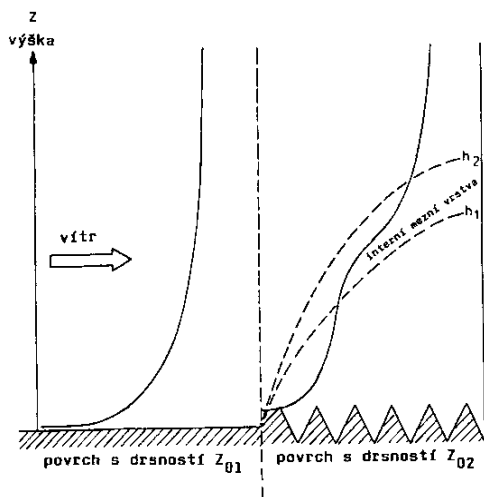
Vzhledem k značnému rozmezí výšky, do které zasahují listy rotoru větrné elektrárny, musíme uvažovat i rozdíl rychlostí proudění vzduchu případně turbulence v celém tomto rozmezí. Základním ovlivňujícím faktorem je drsnost povrchu určená sumou účinků jednotlivých překážek. Nad překážkami vznikají turbulence, které mizí postupně v závislosti na vzdálenosti od překážky. Parametr drsnosti povrchu je možno interpretovat jako efektivní výšku elementů drsnosti na zemském povrchu.

V nejjednodušším přiblížení je možno vertikální profil rychlosti větru přiblížit následujícím příkladem.



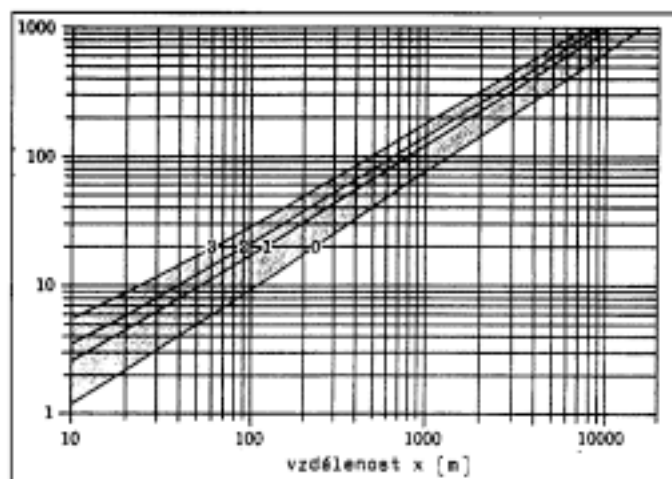
obrázek 13: Schématické vertikální profily rychlosti větru v přízemní vrstvě při různých parametrech drsnosti [43].

Při proudění vzduchu přes rozhraní o různé drsnosti se vytváří nad novým povrchem nová, tzv. **interní mezní vrstva**. Pro výpočet optimální výšky větrné turbíny nad terénem je nutno vědět, jak tento faktor ovlivňuje vertikální profil rychlosti větru. Náznový příklad ilustruje schématický obrázek 14.



obrázek 14: Schématické vyjádření vzniku interní mezní vrstvy při skokovité změně drsnosti povrchu [67].

Z tohoto obrázku vyplývají další omezení pro výběr vhodného umístění VE. V přírodních podmínkách dochází ke změně drsnosti povrchu velmi často a tato změna výrazně ovlivňuje proudění v přízemní vrstvě. Navíc je nutno brát v úvahu, že charakter terénu vyvolávající zmíněný efekt má často za následek i změnu vertikálního teplotního gradientu. Rušivé vlivy působící na proudění vzduchu se vytrácejí až ve značné vzdálenosti od místa změny drsnosti. Na obr. 5 je znázorněn vztah mezi výškou interní mezní vrstvy a vzdáleností od diskontinuity drsnosti povrchu.



obrázek 15: Výška interní mezní vrstvy h jako funkce vzdálenosti x od diskontinuity drsnosti povrchu pro čtyři třídy parametru drsnosti [32].

Z grafu lze určit, že pro výšky kolem 60 m, do kterých se instalují větrné turbíny, musíme mít na zřeteli nepříznivý vliv interní mezní vrstvy až do vzdálenosti 600 - 700 m.

V případě umístění VE v terénu obsahujícím překážky, jako jsou budovy nebo skupiny keřů či stromů, je nutno uvážit jejich vliv. V případě idealizované jednotlivé kolmé překážky je vzduch vytlačován nad ni a za překážkou se tvoří zóna turbulence, která se projevuje do vzdálenosti asi pětinasobku výšky překážky. V případech, jako jsou větrolamy, uvažujeme ještě část vzduchu proudícího skrz překážku. Velikost této části závisí na propustnosti překážky. Pro odhady velikosti oblasti turbulentní zóny v konkrétních případech doporučujeme nahlédnout do [48].

Jedná-li se o velký počet jednotlivých překážek na určitém území, je nutno rozlišit, zda jsou vzdálenosti mezi nimi větší nebo menší než oblasti turbulence způsobované jednotlivými překážkami. V extrémním případě řady těsně navazujících překážek, což je například případ zalesněného území, vzniká kvazihomogenní povrch s velmi velkou drsností.

Znalost interní mezní vrstvy je zásadní pro umístění VE. Jestliže je VE postavena tak, že se rotor pohybuje uvnitř a vně interní mezní vrstvy, působí na něj nespojitý vertikální profil rychlosti větru. Tato skutečnost může mít nepříznivý vliv na funkci a výkon VE a v některých případech může vést i k jejímu poškození.

Optimální výška VE je dána ekonomickou rovnováhou mezi růstem výkonu s výškou nad terénem a náklady na stavbu vyššího tubusu. Výpočtům vertikálního profilu větru je věnována velká pozornost v [67].

5.2.4. Distribuční charakteristika (funkce) četnosti rychlostí větru

Údaje o průměrné rychlosti větru mají pouze informativní charakter a nejsou pro stanovení výkonu a vyrobené energie dostatečné. Nejvhodnějším postupem a jediným relativně objektivním způsobem je dlouhodobé měření rychlosti v krátkých časových intervalech na vybraném místě ve výšce přepokládaného středu plochy uvažovaného odběru energie.

Důležité je alespoň roční měření porovnané s dlouhodobými údaji na blízkých meteorologických stanicích. Rychlosti větru jsou rozdílné zejména mezi letním a zimním obdobím. Ani roční měření nedává plnou záruku budoucí produkce energie, protože průměrnou rychlostí větru se mohou od sebe značně lišit i jednotlivé roky.

Pro větrné elektrárny připojené do sítě je kvalitní měření rychlosti a směru větru nezbytné, neboť údaje o rychlosti větru jsou pro ekonomiku projektu zásadní a jeho cena je ve srovnání s celkovými investičními náklady zanedbatelná.

Distribuční charakteristika (funkce) je vlastně „frekvenční charakteristikou“ četnosti rychlostí větru, která udává rozdělení četnosti rychlosti větru. Ke každé rychlosti větru se přiřadí číslo

vyjadřující procentuální podíl vybrané rychlosti větru na době, po kterou byl vítr měřen. Měření mohou zpracována tabelárně nebo vynesena do sloupcových grafů či frekvenčních funkcí. Na vodorovnou osu se většinou vynášejí měřené rychlosti větru, na svislou osu jejich četnost v hodinách nebo v procentech za rok.

Pro přesnou kvalifikaci větrných charakteristik se pro účely výpočtů používá v technické praxi náhradních distribučních funkcí. Nejčastěji se k těmto účelům využívá aproximace Weibullovým rozdělením. Náhodná veličina X má Weibullovo rozdělení s parametry δ a c (značí se většinou $W(\delta, c)$), $\delta > 0$, $c > 0$, jestliže hustota pravděpodobnosti $f(x) = 0$ pro $x \leq 0$ a pro $x > 0$ má následující tvar:

$$f(x) = \frac{c \cdot x^{c-1}}{\delta^c} \cdot \exp\left[-\left(\frac{x}{\delta}\right)^c\right]$$

rovnice 48: Weibullovo rozdělení s parametry δ a c - náhradní distribuční funkce (rozdělení) četnosti rychlostí větru.

kde:

- x je náhodná veličina, tedy průměrná rychlost větru [m/s]
- δ je součinitel rozptylu určující polohu maxima funkce a souvisí s průměrnou rychlostí větru, podle [55] přibližně platí, že průměrná rychlost větru $\delta = 1,136 \cdot \bar{w}$, podle [68] $\delta = 1,126 \cdot \bar{w}$
- c je tvarový součinitel a jeho hodnota se mění podle [55] pro různé distribuční funkce přibližně v rozsahu 1,5 - 3,0, podle [68] 1,2 - 2,4

Weibullovo rozdělení je velmi univerzální, používá se pro stanovení doby života nebo doby poruchy mnohých strojních zařízení, zejména pro případy, kde se projevuje mechanické opotřebení a únava materiálu. Speciálním případem Weibullova rozdělení $W(\delta, c)$ je exponenciální rozdělení $E(0, \delta)$ pro $c = 1$. Pro $c = 2$ přechází Weibullovo rozdělení v rozdělení Rayleighovo a pro $c = 3,43$ se blíží aproximativně Gaussovu rozdělení. [44]

Z průběhu funkce vyplývá, že nemůže vystihovat doby bezvětří, protože vychází od počátku souřadné soustavy a při nulové rychlosti větru je četnost výskytu také nulová. Není-li tudíž započítána doba, kdy je rychlost větru nulová, bude takto stanovená průměrná rychlost poněkud vyšší, než průměrná rychlost stanovená měřením.

Pro danou distribuční charakteristiku lze vybrat vhodný větrný motor a následně vyhodnotit předpokládanou roční výrobu energie.

5.2.5. Výkon a energie větru

Výkon vzdušného proudu je funkcí rychlosti větru, hustoty vzduchu a velikostí plochy, kterou vzduch protéká:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho w^3 \cdot S$$

rovnice 49: Výkon větru protékající danou plochou.

kde:

- P_w je výkon protékající danou plochou při rychlosti větru w [W]
- ρ je hustota vzduchu [kg/m³]
- w je rychlost vzduchu [m/s]
- S je průtočná plocha [m²]

Vzhledem k tomu, že se **výkon mění s třetí mocninou rychlosti větru** podle vztahu uvedeného nahoře, promítne se i malá odchylka v rychlosti větru výrazně.

Ze stavové rovnice lze pro známou teplotu a barometrický tlak získat hustotu vzduchu:

$$\rho = \frac{p_b}{r \cdot T}$$

rovnice 50: Hustota vzduchu při daném barometrickém tlaku.

kde:

- ρ je hustota vzduchu [kg/m³]
 p_b je barometrický tlak [Pa]
 T je termodynamická teplota [K], kterou lze vypočítat z naměřených hodnot teploty t ve °C, T [K] = 273,15 + t [°C]
 r je plynová konstanta vzduchu, přibližně 287,1 [J/kg.K]

Barometrický tlak se v meteorologických hlášeních redukuje na hladinu moře. S rostoucí nadmořskou výškou barometrický tlak klesá podle následujícího vztahu:

$$p_{b(h)} = p_{b(0)} \cdot (1 - 0,118358 \cdot 10^{-3} \cdot h + 0,5291 \cdot 10^{-8} \cdot h^2)$$

rovnice 51: Závislost barometrického tlaku na nadmořské výšce.

kde:

- $p_{b(h)}$ je barometrický tlak v nadmořské výšce h [Pa]
 $p_{b(0)}$ je barometrický tlak u hladiny moře [Pa]
 h je nadmořská výška [m]

Protože se výkon v závislosti na čase a rychlosti větru mění, lze potom obecně vyjádřit energii větru vztahem:

$$E_C = \frac{S}{2} \cdot \int_{t_1}^{t_2} \rho(t) \cdot w^3(t) dt$$

rovnice 52: Energie větru za dané časové období.

kde:

- E_C je celková energie větru za dané časové období [kWh]
 S je průtočná plocha [m²]
 ρ je hustota vzduchu [kg/m³]
 w je rychlost vzduchu [m/s]
 t je čas, kde doba mezi t_1 a t_2 se volí většinou jeden rok, čas je udáván počtem hodin většinou během roku [h]

5.2.6. Výkon, účinnost a výroba větrného motoru

Z teorie větrných motorů vyplývá vztah pro výkon větrného motoru:

$$P_{VMid} = \frac{S}{4} \cdot \rho \cdot (w_1^2 - w_2^2) \cdot (w_1 + w_2)$$

rovnice 53: Výkon větrného motoru.

kde:

- P_{VMid} je ideální účinnost větrného motoru [W]
 S je průtočná plocha rotoru [m²]
 ρ je hustota vzduchu [kg/m³]

w_1, w_2 je rychlost vzduchu před a za rotorem [m/s]

Pokud vyjádříme výkon větrného motoru v poměru k výkonu větru, získáme ideální účinnost větrného motoru, které lze dosáhnout pomocí ideálního rotoru s nekonečným počtem nekonečně tenkých lopatek pracujících bez aerodynamického odporu. Protože ideální účinnost motoru závisí na poměru rychlostí před a za rotorem w_1/w_2 , ideální účinnost vykazuje maximum pro $w_1/w_2 = 3$ a je označována jako tzv. Betzova účinnost:

$$\eta_{\max} = \frac{P_{VMid}}{P_w} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \left(w^2 - \frac{w^2}{9} \right) \cdot \left(w + \frac{w}{3} \right)}{\frac{w^3}{2}} = \frac{16}{27} = 0,5926$$

rovnice 54: Betzova ideální účinnost větrného motoru.

Odvozená ideální účinnost platí pro motory pracující na vztakovém principu, podle různých teoretických předpokladů a jednotlivých autorů se odlišuje, v každém případě však ideální mezní účinnost je značně vyšší než reálné dosažitelné hodnoty.

Celková účinnost větrné elektrárny je potom dána součinem účinnosti obvodové, mechanické a elektrické, pohybuje se v rozmezí 0,15 - 0,45 podle druhu větrného motoru:

$$\eta_{VE} = \eta_{ob} \cdot \eta_m \cdot \eta_{el}$$

rovnice 55: Celková účinnost větrné elektrárny.

kde:

- η_{VE} je celková účinnost větrné elektrárny [-]
- η_{ob} je obvodová účinnost v důsledku aerodynamických ztrát rotací vzdušného proudu za vrtulí, třením profilů a turbulencí na konci lopatek [-]
- η_m je mechanická účinnost v důsledku ztrát třením v ložiscích, převodové skříní, atd. [-]
- η_{el} je účinnost elektrické přeměny v důsledku ztrát v generátoru [-]

5.2.7. Výpočet a odhad roční produkce elektřiny

V praxi vyrobené množství energie závisí na průměrné rychlosti větru, rozdělení četnosti rychlostí větru a na výkonové křivce elektrárny. Potom z rovnice 56 vyplývá, že jednotlivým rychlostem větru je nutné přiřadit výkon větrného motoru a vynásobit dobou výskytu dané rychlosti během roku.

$$E_C = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{w_0}^{w_{\max}} P_{VM}(w) dw \right) dt$$

rovnice 56: Energie větru za dané časové období.

kde:

- E_C je celková energie větru za dané časové období [kWh/rok]
- P_{VM} je výkon větrného motoru při dané rychlosti větru w , $w_{\max}$ je maximální rychlost větru, do které větrný motor (elektrárna) pracuje [kW]
- w je rychlost větru [m/s]
- t je čas, po který větrný motor pracuje na příslušném výkonu, kde doba mezi t_1 a t_2 se volí většinou jeden rok, čas je udáván počtem hodin během roku [h/rok]

Při numerickém řešení nahradíme integrál sumou:

$$E_C = \sum_{i=1}^n P_{VMi} \Delta t_i$$

rovnice 57: Celková produkce energie větrným motorem za rok.

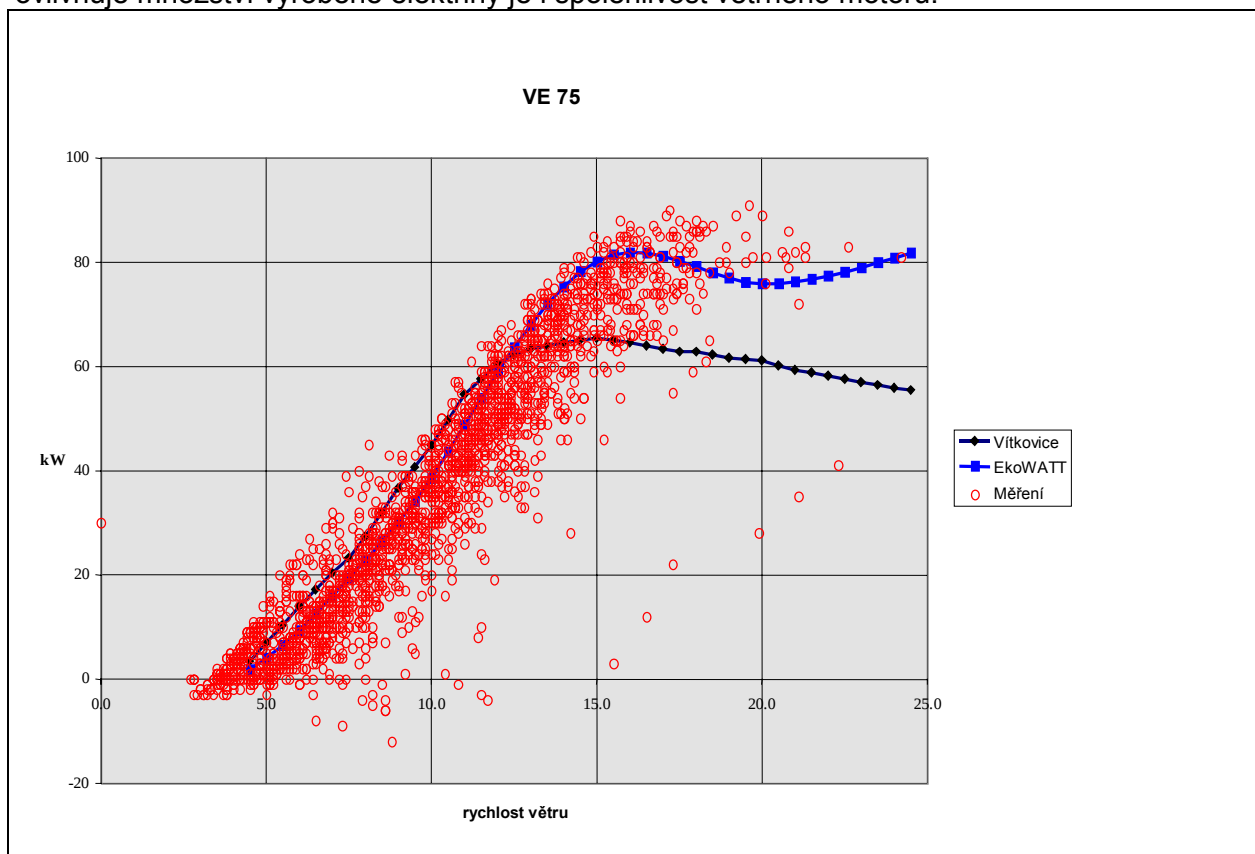
kde:

E_C je celková energie větru za dané časové období [kWh/rok]

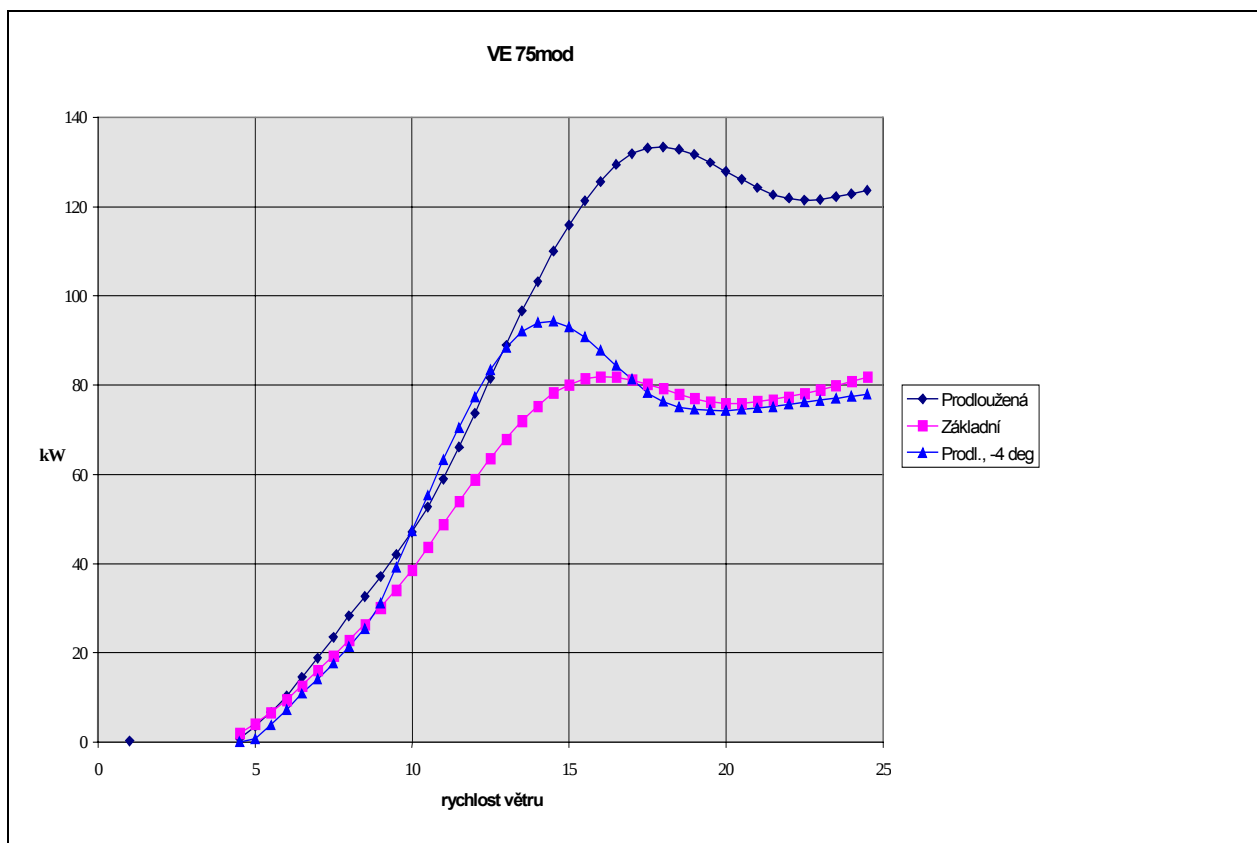
P_{VMi} je výkon větrného motoru při dané rychlosti větru w v i -tém intervalu, $w_{\max}$ je maximální rychlost větru, do které větrný motor (elektrárna) pracuje [kW]

Δt_i je časový úsek v hodinách během roku [h/rok]

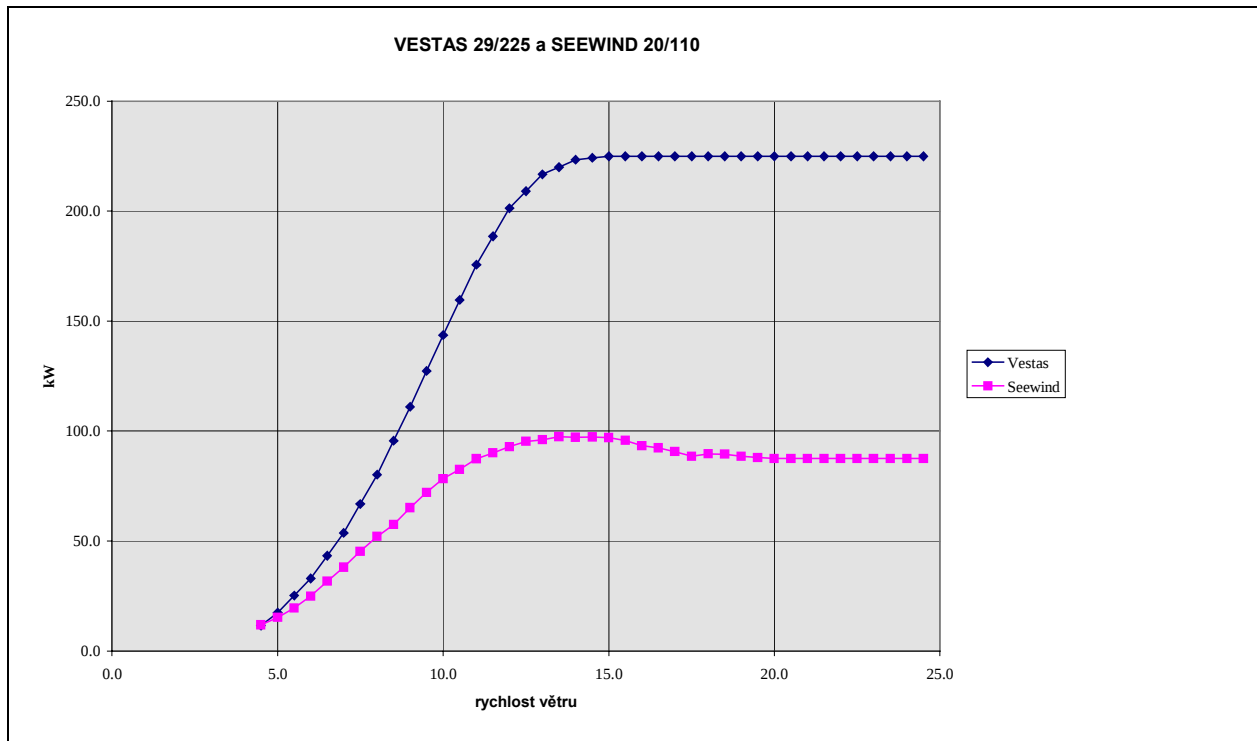
Z výše uvedeného vyplývá, že v ideálním případě je dobré znát distribuční charakteristiku stanovenou z dlouhodobého měření průběhu rychlostí větru v dané lokalitě. Pokud není k dispozici je nutné se spokojit s náhradní distribuční funkcí, kterou stanovíme ze známé průměrné rychlosti větru, jež bývá nejčastěji k dispozici. Pokud známe technické parametry větrného motoru lze po odečtení ztrát a po započtení doby vynucených odstávek, která bývá obvykle větší než 5 %, získat odhad roční výroby energie. Nezanedbatelným faktorem, který ovlivňuje množství vyrobené elektřiny je i spolehlivost větrného motoru.



obrázek 16: Výkonové křivky větrné elektrárny VE 75.



obrázek 17: Výkonová křivka modifikované větrné elektrárny VE 75 s prodlouženými listy. Graf ukazuje přírůstek vyrobené energie v důsledku nastavení listů.

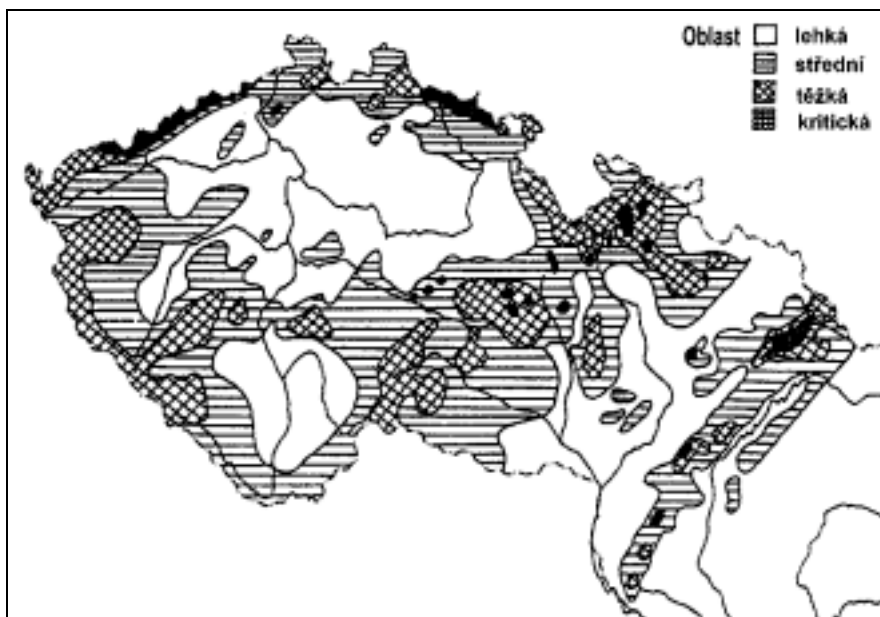


obrázek 18: Výkonová křivka větrných elektráren Seewind a Vestas.

5.2.8. Námrazky

Nezanedbatelným rizikovým faktorem specifickým zejména pro pohoří na severu naší republiky je výskyt námrazy. Námrazová mapa Evropy ukazuje, že oblasti s podobným výskytem námrazy jako v Krušných horách se vyskytují až ve Skandinávii. V zimních měsících, kdy jsou větrné podmínky obecně lepší než v létě, dochází k četným odstávkám elektráren právě kvůli masivní námraze, která obaluje listy rotorů i měřicí zařízení. V některých lokalitách tak v zimních měsících výroby energie klesají na pouhou desetinu předpokládaného výtěžku.

obrázek 19: Mapa námrazy na území ČR podle Popolanského. [18]

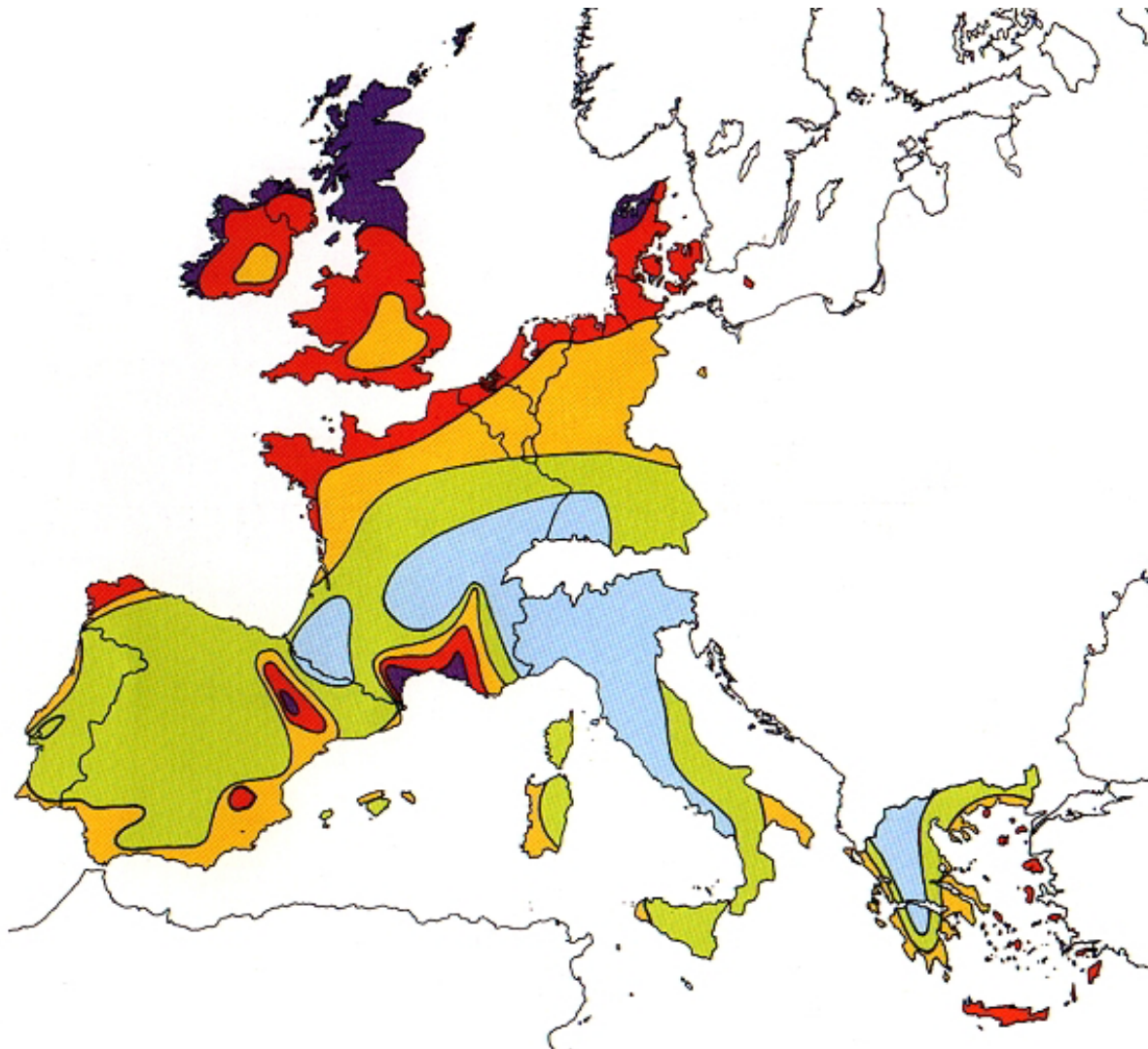


Pozn.: Námraza byla tříděna podle hmotnosti námrazy vytvořené v námrazovém cyklu (tzn. období tvoření až opadnutí) na horizontálních tyčích o délce 1 m, průměru 30 mm, uložených ve výšce 5 m nad zemí ve směru sever - jih a východ - západ. Oblasti byly rozděleny na oblasti s námrazou lehkou (do 1 kg/m), střední (do 2 kg/m) a těžkou (do 3 kg/m).

Údaje o nejnižších teplotách v zimních měsících je důležité znát pro omezení provozu VE z bezpečnostních důvodů. Konkrétní hodnoty závisí na specifikaci jednotlivých výrobců, ale obvykle teploty nižší než -15 až -20 °C vyžadují odstavení elektráren. Pro odhad počtu hodin mimo provoz je potřebné znát četnost teplot nižších než - 15 a - 20 °C v hodinách.

5.3. Sběr dat v rámci ÚEK

Pro účely posuzování možností využití energie větru jsou využitelné všechny nahoře uvedené druhy sledovaných meteorologických údajů. Pro stanovení množství vyrobené energie je však potřeba přihlížet ke kvalitě použitých dat, zejména ke vzorkovací době.



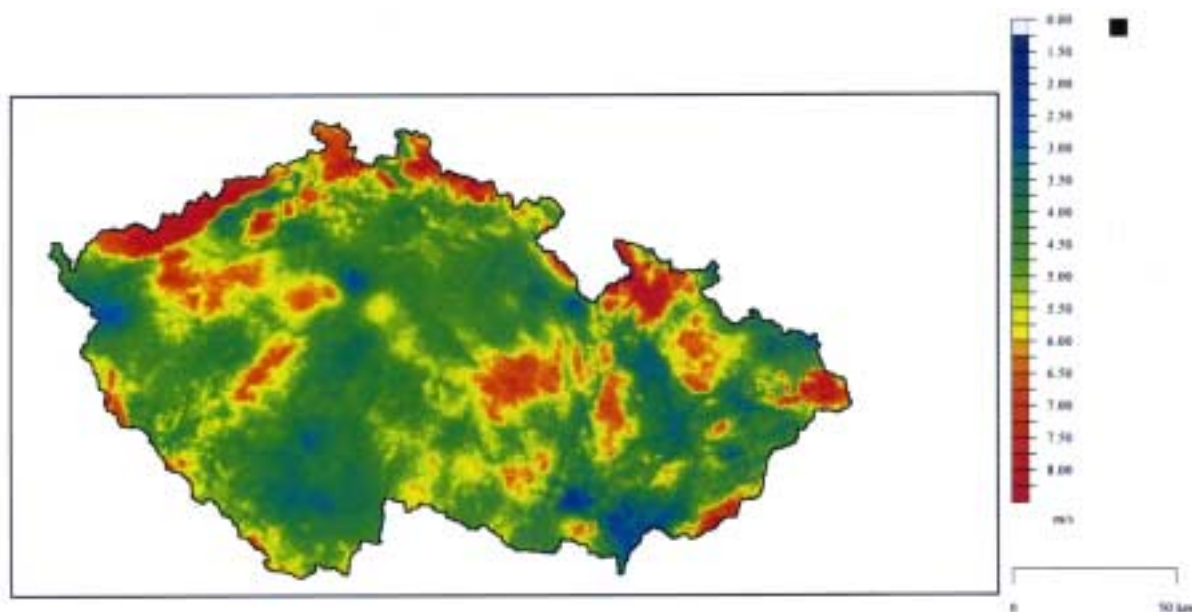
obrázek 20: Reprodukce z Větrného atlasu Evropy, 1989.

5.3.1. Program VAS

Program „VAS“ vznikl v Ústavu fyziky atmosféry AV ČR za podpory České energetické agentury, Praha, 1995 interpolací údajů meteorologických stanic a z numerického modelu proudění nad naším územím. Výpočet je prováděn na základě interpolace údajů z více meteorologických stanic tzv. metodou VAS a umožňuje teoretické rozlišení pro oblast velikosti 2 x 2 km.

Tento program se používá pro stanovení rychlostí větru a vypočítání potenciálu jednotlivých lokalit. Vychází ze studie „Možnosti využití energie větru k výrobě elektrické energie na území ČR“, která zahrnuje měření rychlostí větru v lokalitách s předpokládanou dobou využitelnosti pro výrobu energie. Jako vstupní údaje jsou použita data z meteorologické sítě. Dalším stupněm je funkční matematický model proudění vzduchu a analytické vyjádření pole průměrné rychlosti větru nad územím České republiky.

Program pracující s tímto modelem umožňuje mj. po zadání zeměpisných souřadnic a nadmořské výšky místa stanovit průměrnou roční rychlost větru a provést korekci na nestandardnosti terénu. V dalším kroku je možné při specifikaci použitého typu větrné elektrárny vypočítat průměrnou roční výrobu elektrické energie.



obrázek 21: Větrný atlas České republiky.

5.3.2. Zdroje dat pro odhad současného využití

Využívání energie větru je v současné době v ČR omezeno na několik lokalit. Získání údajů o výkonech, eventuálně i výrobách energie ve větrných elektrárnách je pro účel regionálních energetických konceptů nejvhodnější přímo od provozovatelů větrných elektráren (za předpokladu jejich ochoty údaje poskytnout). Řada instalací větrných elektráren získala státní podporu od ČEA nebo SFŽP, od kterých je možno získat údaje alespoň o předpokládané výrobě elektrické energie.

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
Rozvodné energetické podniky	1 - 2	1	Rozvodné energetické podniky disponují přesnými údaji, pokud jsou VE připojeny do jejich sítě. Vzhledem k obchodnímu tajemství však získání údajů značně závisí na ochotě data poskytnout.
ČEA	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat od ČEA poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat ze SFŽP poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
EkoWATT	1	1	Na komerční bázi

tabulka 13: Zdroje dat pro odhad současného využití energie větru (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

5.3.3. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu

Podklady pro stanovení využitelného potenciálu energie větru ve formě mapových vrstev GIS, pokrývajících celou ČR a udávajících průměrnou rychlost větru ve výšce 10 m ve čtvercích 1x1 km je pro regionální energetické dokumenty, které jsou finančně podporovány SFŽP získat od této instituce. Lze předpokládat, že na vyžádání budou moci podklady získat i zpracovatelé ÚEK, jejichž financování je zabezpečeno jiným způsobem (vlastní zdroje, ČEA).

Další možností je využití dat z větrného atlasu či možnost zpracování analýzy pro jednotlivé perspektivní lokality. Autorem větrného atlasu je Ústav fyziky atmosféry ČR, který je také na komerčním základě schopen data či analýzy poskytnout.

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Mapové vrstvy GIS - rychlost větru ve výšce 10 m. Pro účely energetických dokumentů, podpořených SFŽP.
ČHMÚ	1	1	Na komerční bázi
ÚFA - větrný atlas, analýzy jednotlivých lokalit	1	1	Na komerční bázi
EkoWATT	1	1	Na komerční bázi

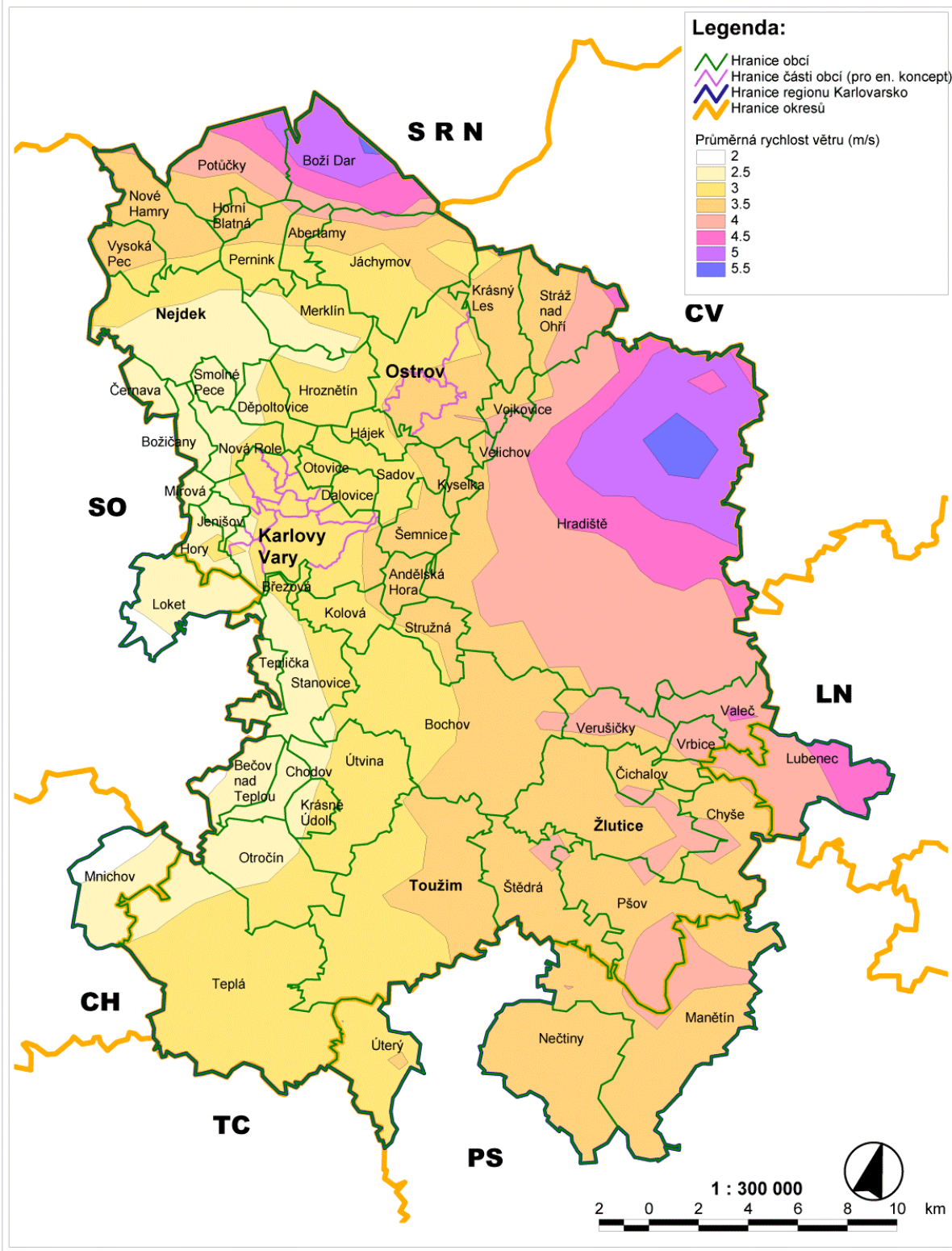
tabulka 14: Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu energie větru (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

Energetický koncept regionu Karlovarsko

Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m



SRC International CS s.r.o.
projekt CS 1190



obrázek 22: Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí. [20].

5.4. Metodické postupy pro účely ÚEK

5.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit

Volba lokalit má nejpodstatnější vliv na množství vyrobené energie. Při územním plánování OZE je pro stanovení využitelného potenciálu nejdůležitější jejich výběr, protože ten ovlivňuje složky měrných nákladů na výrobu energie. Proto je potřebné předem definovat okrajové technicko-ekonomické podmínky využití větrné energie, které jsou dány zejména rychlostí větru.

Moderní větrné elektrárny mají startovací rychlost větru pro rozběh kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé elektrárny vybaveny dvěma generátory (nebo jedním s dvojím vinutím). Při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je pak kolem 2,5 m/s.

Z předchozího vyplývá, že technickou podmínkou využití větrné energie je potřebná lokalita s průměrnou roční rychlostí vyšší, než je startovací rychlost větrné elektrárny, tj. nad 4 m/s. Aby se větrná elektrárna dostala z rozběhové části výkonové křivky do výrobní, musí být rychlost větru alespoň 5 m/s a vyšší (záleží na typu a parametrech elektrárny).

V případě vnitrozemských oblastí, tedy v podmínkách ČR, jsou příhodné lokality téměř výhradně ve vyšších nadmořských výškách, obvykle nad 500 - 600 m n.m. V nižších nadmořských výškách je roční průměrná rychlost větru nízká (kolem 2 až 4 m/s).

Ačkoliv údaje z meteorologických měření jsou do jisté míry zatíženy chybami, je možné vyloučit jako vhodné oblasti, kde jsou měřené průměrné rychlosti nižší než 3,5 m/s při měření v klimatických termínech a 4 m/s při přesnějším kontinuálním měření. [55]

K výběru konkrétní lokality je nejvhodnější stanovení **distribuční charakteristiky** rychlosti větru. Ideální je alespoň roční měření porovnané s dlouhodobými údaji na blízkých meteorologických stanicích. Je dobré si uvědomit, že jednotlivé roky se od sebe mohou svou průměrnou rychlostí větru i značně lišit.

Technická hlediska	minimální průměrná roční rychlost větru musí být vyšší než 5 m/s měřeno v 10 m nad povrchem => minimální nadmořská výška lokality - pro výpočet je 500 m.n.m.
	vítr na lokalitě musí být pokud možno stálý, bez velkých rychlostních výkyvů a turbulencí => lokalita nesmí být zalesněná (nejlépe bez porostů), nebo s překážkami bránícími laminárnímu proudění větru (stromy, stavby, budovy)
	musí být dostupná pro těžké mechanismy nejlépe po zpevněné komunikaci, nebo musí být vhodná pro vybudování potřebné zpevněné komunikace
	co nejmenší vzdálenost od přípojky Vn nebo VVn s dostatečnou kapacitou
	vhodné geologické podmínky pro základy (únosnost podloží)
Ekologická hlediska	nesmí se nacházet v chráněné lokalitě z pohledu ochrany přírody
	dostatečná vzdálenost od obydlí (minimalizace možného rušení obyvatel hlukem), podle hygienických předpisů MZ ČR, vyhl. 13/1977 je nejvyšší přípustná hladina hluku ve venkovním prostoru na obytném území příměstském u menších sídelních útvarů ve dne 50 dB a v noci 40 dB (většinou splněno při vzdálenosti 200 m od obydlí)
	nesmí jinak nevhodně zasahovat do okolní přírody (zátěž při výstavbě elektrárny, zátěž budováním přípojky, vzhled krajiny -

	názorově velmi individuální)
	umístění lokality (stavba v CHKO velmi komplikuje povolovací řízení)
Ekonomická hlediska	cena pozemků pro umístění větrného motoru, vyřešení majetkoprávních vztahů ohledně pozemku, postoj místních úřadů, možnost vlastnictví či dlouhodobého pronájmu pozemku
	kvalita podkladu a seismická situace ovlivňující výši nákladů na stavbu základů
	náklady na vybudování elektrické přípojky u větrných elektráren připojených na síť
	náklady na dopravu a na instalování větrného motoru ovlivněné přístupností, případně nutnost stavby komunikace
	projekční náklady vázané na složitost projektu
	ostatní náklady pro zajištění bezpečnosti provozu

tabulka 15: Přehled nejdůležitějších kritérií pro využití energie větru.

5.4.2. Volba vhodné technologie využitelné v lokalitě

Výpočet možného potenciálu velmi ovlivňuje typ navržené větrné elektrárny a její výkon. Větrné elektrárny se od sebe liší výtěžností pro určité parametry větru, což vyplývá z konstrukce rotoru, typu generátoru a zejména regulace.

V současné době převládají dva typy regulace:

Regulace stall: Využívá odtržení proudnice od listu rotoru při určité výpočtové rychlosti větru. Výhodou je o něco vyšší výroba elektrické energie při vyšších rychlostech větru s větrnými nárazy a nižší pořizovací náklady.

Regulace pitch: Využívá natáčení celého listu rotoru podle okamžité rychlosti větru, tak aby byl celkový náběh větrného proudu v daném okamžiku optimální. Výhodou je vyšší výroba elektrické energie zejména při nižších rychlostech větru, kdy se optimalizace projeví nejvíce. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.

Většinou se pro využití energie větru volí standardní větrné elektrárny s horizontální osou rotace. Větrné elektrárny s velkými výkony (nad 1 MW) lze doporučit po zralé úvaze, aby díky vysokému stožáru a velkému průměru rotoru negativně nenarušovaly optický reliéf krajiny.

Protože se v současné době v ČR žádné větší větrné elektrárny (nad 100 kW) nevyrábějí, je možné využít spíše nabídky evropského trhu. Velmi kvalitní větrné elektrárny vyrábí například sousední SRN (výrobci: Enercon, Tacke, Seewind), nebo velmoc v oboru Dánsko (výrobci: N E G. Micon, Bonus, Vestas,). Program VAS, který lze výhodně použít právě pro výpočet potenciálu, provést výpočet pro různé typy větrných elektráren známých evropských výrobců.

5.4.3. Výpočet potenciálu větrné energie

Množství vyrobené energie závisí na průměrné rychlosti větru a rozdělení četnosti rychlostí větru a na výkonové křivce elektrárny.

Podle mapových podkladů nejlépe v přesné mapě 1:50 000 je potřeba vytipovat a zakreslit možné lokality na základě výše uvedených kritérií. Po zakreslení respektující předepsané vzdálenosti mezi jednotlivými elektrárnami (většinou se volí 10 x průměr rotoru) je možné odečíst geografické souřadnice včetně nadmořské výšky. Každou lokalitu lze potom vyhodnotit počítačovým programem VAS, který na základě údajů nejbližších meteorologických stanic modeluje rychlosti větru a množství vyrobené energie na zadané lokalitě.

6. Energie biomasy

6.1. Možnosti využití

Biomasa je definována jako substance fyto-logického původu, která je získávána jako výsledek výrobní činnosti nebo jako odpady ze zemědělské, potravinářské nebo lesní produkce.

Z energetického hlediska lze energii z biomasy získávat téměř výhradně termochemickou přeměnou, tedy **spalováním**. Biomasa je podle druhu spalována přímo, nebo jsou spalovány kapalné či plynné produkty jejího zpracování. Biopaliva je tedy možno rozdělit na tuhá, kapalná a plynná. Od toho se odvíjejí základní technologie zpracování a přípravy ke spalování:

1. termo-chemická přeměna
 - pyrolýza (produkce plynu, oleje)
 - zplyňování (produkce plynu)
2. bio-chemická přeměna
 - fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu)
 - anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (produkce bioplynu)
3. mechanicko-chemická přeměna
 - lisování olejů (produkce kapalných paliv, oleje)
 - esterifikace surových bio-olejů (výroba bionafty a přírodních maziv)
 - štípání, drcení, lisování, peletace, mletí,...(výroba pevných paliv)

Energetickou biomasu lze dále rozdělit podle [49] do pěti základních skupin:

1. Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy.
2. Fytomasa olejnatých rostlin.
3. Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru.
4. Organické odpady živočišného původu
5. Směsi různých organických odpadů.

6.2. Metodické postupy posuzování potenciálů [33], [57], [58]

6.2.1. Přímé spalování a zplyňování

Spalování - suchá biomasa je velmi složitě palivo, protože podíl částí zplyňovaných při spalování je velmi vysoký viz tabulka 16. Vzniklé plyny mají různé spalovací teploty. Proto se také stává, že ve skutečnosti hoří jenom část paliva.

Palivo	Prchavá hořlavina [%]
Koks	0 - 5
Antracit	5 - 10
Černé uhlí	10 - 45
Hnědé uhlí	45 - 60
Rašelina	60 - 73
Dřevo	73 - 80

tabulka 16: Obsah prchavé hořlaviny tuhých paliv.

Dřevoplyn - ze suché biomasy se působením vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky, tzv. dřevoplyn. Jestliže je přítomen vzduch, dojde k hoření, tj. jde o prosté spalování. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, odvádí se vzniklý dřevoplyn do spalovacího prostoru, kde se spaluje obdobně jako jiná plynná paliva. Část vzniklého tepla je použita na zplyňování další biomasy. Výhodou je snadná regulace výkonu, nižší emise, vyšší účinnost.

6.2.1.1. Spalné teplo a výhřevnost biomasy

Výhřevnost biomasy jako paliva je dán zejména množstvím tzv. **hořlaviny**, organické části biomasy bez vody a popelovin, tedy směsi hořlavých uhlovodíků zejména celulózy, hemicelulózy a ligninu. Absolutně **suchá** biomasa je organická část s popelem bez vody.

Měrné spalné teplo a **výhřevnost** paliva jsou určeny **podílem tepla**, které se uvolní při dokonalém spálení paliva, ochladí-li se spaliny na **původní** teplotu paliva, a **hmotnosti paliva**. U **měrného spalného tepla** se počítá, že voda vzniklá reakcí i voda původně obsažená v palivu je v **kapalném stavu**. U **výhřevnosti** se počítá, že voda zůstane v **plynném stavu**. [46]

Efektivní výhřevnost paliva lze stanovit matematicky z následující rovnice:

$$H_{ef} = H_s(1 - W_r) - 2,433 \cdot W_r = H_{sbp}(1 - W_r - A) - 2,433 \cdot W_r$$

rovnice 58: Efektivní výhřevnost H_{ef} [MJ/kg] vlhké biomasy o relativní vlhkosti W_r s obsahem popela A .

kde:

- H_{ef} je efektivní výhřevnost vlhké biomasy [MJ/kg]
- H_s je výhřevnost suché biomasy (včetně popelovin) [MJ/kg]
- H_{sbp} je výhřevnost hořlaviny, suché biomasy bez popela [MJ/kg]
- W_r je relativní vlhkost dřeva, hmotnostní podíl v [%]
- A je obsah popelovin, hmotnostní podíl [%]

Výhřevnost hořlavých složek biomasy lze vypočítat z prvkového složení např. podle Dulong-Boileových vztahů:

$$Q_{sbp} = 35,2 \cdot C + 116,2 \cdot H - 11,1 \cdot O$$

rovnice 59: Spalné teplo suché biomasy bez popela [MJ/kg].

$$H_{sbp} = Q_{sbp} - \frac{H}{2} \cdot 18 \cdot 2,454 = 35,2 \cdot C + 94,114 \cdot H + 11,1 \cdot O$$

rovnice 60: Výhřevnost suché biomasy bez popela [MJ/kg].

kde:

Q_{sbp} je spalné teplo suché biomasy bez popela [MJ/kg]

H_{sbp} je výhřevnost suché biomasy bez popela [MJ/kg]

C je hmotnostní zlomek uhlíku

H je hmotnostní zlomek vodíku

O je hmotnostní zlomek kyslíku

6.2.1.2. Vlhkost biomasy

V praxi se rozlišují dva odlišné způsoby stanovení vlhkosti dřeva:

Absolutní vlhkost, kde obsah vody je vztažen k absolutně suché substanci, se používá při fyzikálních a mechanických zkouškách dřeva. Je definován v [%] vztahem:

$$W_a = \frac{(m_1 - m_2)}{m_2} \cdot 100$$

rovnice 61: Absolutní vlhkost dřeva.

kde:

W_a je absolutní vlhkost dřeva, hmotnostní podíl v [%]

m_1 je hmotnost vorku před vysušením

m_2 je hmotnost vorku po vysušení

Relativní vlhkost, kde obsah vody je vztažen k původní (výchozí) hmotnosti dřeva, se používá v energetické praxi při výpočtech efektivní výhřevnosti, při obchodním styku, apod. Je definována vztahem:

$$W_r = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \cdot 100$$

rovnice 62: Relativní vlhkost dřeva.

kde:

W_r je relativní vlhkost dřeva, hmotnostní podíl v [%]

m_1 je hmotnost vorku před vysušením

m_2 je hmotnost vorku po vysušení

Měření vlhkosti lze v případě potřeby provést jednoduše za pomoci přesnější váhy (lze použít i kuchyňskou) a elektrické trouby. Zvážíme vzorek před vysušením a po vysušení a dosadíme do vztahu. V praxi se sušení vzorku provádí ve větrané sušárně při teplotě 120°C po dobu 3 - 4 h. Stanovení vlhkosti se provádí např. v případě kontroly výhřevnosti paliva, které je k dispozici. Vztah mezi relativní a absolutní vlhkostí popisuje následující rovnice:

$$W_r = \left(1 - \frac{100}{W_a + 100}\right) \cdot 100$$

rovnice 63: Vztah mezi relativní a absolutní vlhkostí.

kde:

W_r je relativní vlhkost dřeva, hmotnostní podíl v [%]

W_a je absolutní vlhkost dřeva, hmotnostní podíl v [%]

6.2.1.3. Vliv vlhkosti na výhřevnost biomasy

Výhřevnost dřeva a dalších rostlinných paliv kolísá nejen podle druhu dřeva či rostliny, ale i s vlhkostí, na kterou jsou tato paliva citlivější. Dřevo v porovnání s ostatními palivy má mnohem vyšší přirozenou vlhkost, čerstvě vytěžené dřevo má relativní vlhkost až 60 %, dřevo proschlé za příznivých podmínek na vzduchu má relativní vlhkost cca 20 %. Dřevní hmota při přirozeném provětrávání pod střechou snižuje svůj obsah vody na 20 % za půl roku až jeden rok. Řepková sláma za stejných podmínek na 13 %. Dřevěné brikety mohou mít relativní vlhkost od 10 do 3 %, podle kvality lisování. Z následující tabulky plyne pokles relativní vlhkosti u štěpky pod 15 % během šesti měsíců a její následné ustálení.

Doba skladování [měsíce]	Kalendářní měsíc měření	Relativní vlhkost W_r [%]
0	XII	43,8
1	I	35,4
2	II	31,0
3	III	25,9
4	IV	21,8
5	V	16,6
6	VI	14,5
7	VII	14,5
8	VIII	14,5

tabulka 17: Závislost relativní vlhkosti štěpky na době skladování ve větraném skladu. Zdroj: Kára 1997.

Experimentálně bylo ověřeno, že pro spalování štěpek je optimální vlhkost 30 - 35 %. Při vlhkosti nižší má hoření explozivní charakter a mnoho energie uniká s kouřovými plyny. Při vlhkosti vyšší se příliš mnoho energie spotřebuje na vypaření vody, spalování je obtížné a účinnost topeniště klesá. Pro spalování dřeva lze doporučit vlhkost cca 20 %.

Pro sklizeň slámy platí, že optimální vlhkost je cca 14 %. Vlhké balíky nelze na skládce vysušit, již po několika dnech se uvnitř balíku množí velmi rychle plísně a bakterie, které způsobují následnou degradaci paliva, podobně jako u štěpky. Štěpka i sláma by měly být zpracovány nejpozději do jednoho roku od doby natěžení.

6.2.1.4. Dřevo

Dřevo – je nejvýznamnější tuhé biopalivo. Základní formy pro spalování jsou: polena, štěpky, piliny, brikety, pelety. Výhřevnost je srovnatelná s hnědým uhlím.

Pro výpočty energetických bilancí, objemové spotřeby paliva, navrhování skládek, atd. se v praxi používá následující terminologie.

JEDNOTKA	NÁZEV	VÝZNAM
plm	plnometr = m ³	krychle o hraně 1 m vyplněná dřevem bez mezer, „kostka“ dřevní hmoty, tedy 1 m ³ skutečné dřevní hmoty („bez děr“)
prm	prostorový metr = m ³ p.o. (tedy „prostorového objemu“)	krychle o hraně 1 m vyplněná částečně dřevem s mezerami, čili 1 m ³ složeného dřeva štípaného nebo neštípaného („s dírami“), např. dřevo v lese složené do „metrů“
prms	prostorový metr sypaný	1 m ³ volně loženého sypaného (nezhutňovaného) drobného nebo drceného dřeva

tabulka 18: Jednotky a termíny pro objemové značení dřevní hmoty.

Pozn.: V praxi bývá terminologie uvedená ve výše uvedeném textu nejednoznačná, proto lze doporučit používat pro případnou komunikaci a jednoznačnou specifikaci pomocných nevědeckých termínů, jako např. „kostka dřeva“, dřevo „bez děr“, dřevo „bez mezer“, dřevo „s dírami“, dřevo „s mezerami“, které podle tabulek snadno převedeme na jejich vědecké ekvivalenty. Záludnosti nastávají zejména u termínu „kubík“, v některých lokalitách se objevuje dokonce termín „běžný kubík“. Tato jednotka může mít prakticky všechny výše uvedené významy, které navíc vykazují zjevné krajové odlišnosti. Tedy pozor:

- „kubík“ **většinou znamená plm**, ale ve složených jednotkách, např. Kč/m³ může ve skutečnosti vyjadřovat prm, tedy dřevo „s dírami“,
- „běžný kubík“ = bk **většinou znamená prm**, avšak pozor, v každé lokalitě je „běžné“ něco jiného.

Jednotky	plm	prm	prms
1 plm	1	1,43 - 1,54	2,43 - 2,86
1 prm	0,65-0,7	1	1,61-1,86
1 prms	0,35 - 0,41	0,54 - 0,62	1

tabulka 19: Vzájemné přepočty mezi jednotkami objemu dřevní hmoty.

Pro přesnější výpočet v případě menších rozměrových frakcí je možné použít následující přepočtové poměry:

Sortiment	Jednotka	Rozsah koeficientu přepočtu na [plm]	Koeficient přepočtu [plm]
Kusové dřevo délky 25 - 33 cm, rovnané	1 prm		0,85
Kusové dřevo délky 25 - 33 cm, sypané	1 prms	0,56 - 0,6	0,58
Polena, rovnaná	1 prm	0,7 - 0,8	0,75
Větve, rovnané	1 prm	0,2 - 0,5	0,35
Krajinky, rovnané	1 prm	0,5 - 0,7	0,6
Krajinky, skládané	1 prm	0,55 - 0,75	0,65
Odřezky, volně ložené	1 prms	0,5 - 0,7	0,55
Piliny do 5 mm, sypané	1 prms		0,33
Hoblíny, sypané	1 prms		0,2
Lesní štěpka, sypaná	1 prms	0,35 - 0,45	0,4
Štěpka z pilařských odpadů, sypaná	1 prms	0,3 - 0,4	0,35
Kůra, sypaná	1 prms	0,2 - 0,4	0,3
Drcená kůra, sypaná	1 prms	0,25 - 0,4	0,3

tabulka 20: Vzájemné přepočty mezi jednotkami objemu dřevní hmoty [49], [70].

6.2.1.5. Sláma obilovin a olejnin

Sláma obilovin a olejnin – v našich podmínkách jedná zejména o obilnou a řepkovou slámu. Teoreticky možné disponibilní množství slámy využitelné pro energetické účely se skládá ze 100 % slámy z řepky olejné a kukuřice na zrno, která se jinak nevyužívá, a 20 - 22 % z celkového množství slámy z ostatních plodin, která se využívá podle následujícího klíče, pro energetické účely lze počítat zejména s produkcí z kategorie 3:

Kategorie	Použití	Podíl z celkového množství [%]
1.	Podestýlání	30 - 35
2.	Zkrmování	30 - 35
3.	Zaorání	20 - 30
4.	Ztráty a jiné účely	10

tabulka 21: Využití produkce slámy obilnin, pro energetické účely lze počítat zejména s produkcí z kategorie 3.

Plodina	Zrno	Sláma
Pšenice	1	1,85
Žito	1	1,7
Ječmen	1	0,8
Oves	1	1,4
Kukuřice na zrno	1	1,2
Řepka olejná	1	1,2-1,8

tabulka 22: Přepočty mezi výtěžností zrna a slámy pro jednotlivé druhy plodin.

Využití řepkové slámy: Pro energetické použití je možno předpokládat využití cca 70 - 90% řepkové slámy.

Využití obilní slámy:

- Závislé na zatížení půdy přežvýkavci (použití slámy jako steliva) a výnosu slámy (obvykle se uvažuje cca 2,5 - 3,0 t.ha⁻¹ při výhřevnosti 14,4 GJ.t⁻¹).
- Potřeba stelivové obilní slámy u přežvýkavců je cca 7 kg na 1 DJ/den.
- Pro energetické účely lze běžně využít cca 10 - 20% obilní slámy, hodnota se ale může značně lišit.

6.2.1.6. Spalitelný pevný domovní odpad

Produkce pevných odpadů z domácností se odhaduje na 1,3 - 2,2 kg/osobu.den. Skladba je velice proměnlivá v závislosti na typu sídelního útvaru a kulturně-spoločenské úrovni obyvatel. Orientační složení pevných domovních odpadů (TKO) ukazuje následující tabulka, která s ohledem na své stáří mohla zaznamenat značný posun zejména pokud se týká plastů:

Druh materiálu	Váhový podíl [%]
Hořlavé materiály	
Papír	35-60
Zbytky potravin	2-8
Ostatní organický materiál	2-35
Textil, kůže, guma	1-3
Plastické hmoty	1-8
Nehořlavé materiály	
Kovy	6-9
Sklo a keramika	5-13
Ostatní	1-5
Vlhkost	20-50

tabulka 23: Průměrné složení pevných komunálních odpadů ve střední Evropě. Zdroj Schlesinger, 1977.

Výhřevnost TKO má velké rozpětí, podle [56] 3,35 - 10,4 MJ/kg, ve velkých městech může být 5,8 - 6,5 MJ/kg. S ohledem na přítomnost jedovatých látek je potřeba ke spalování využívat speciálně upravená topeniště, kde bude zajištěna eliminace dioxinů a furanů.

Množství	[kg/os.rok]	[tis. t/rok]
Komunální odpad celkem	311,9	3193
Odpad z domácností z toho	262,0	2681
papír a lepenka	24,0	246
sklo	13,4	137
směsné plasty	11,0	113
PET lahve	1,0	10
nebezpečný podíl	1,4	14
Fe kovy	5,7	58
Al kovy	1,5	15
textil	6,5	67
biologický odpad	33,0	338
ostatní podíl	164,5	1683
Uliční smetky	12,0	123
Odpad ze zeleně	24,0	246
Ostatní objemný odpad	13,9	143

tabulka 24: Množství a látkové složení TKO podle analýz z let 1992 - 94, zdroj VÚMH Praha.

6.2.2. Bio-chemická přeměna

6.2.2.1. Bioetanol

Bioetanol - Fermentací roztoků cukrů je možné vyprodukovat ethanol (ethylalkohol). Vhodnými materiály jsou cukrová řepa, obilí, kukuřice, ovoce nebo brambory. Cukry mohou být vyrobeny i ze zeleniny nebo celulózy. Teoreticky lze z 1 kg cukru získat 0,65 l čistého ethanolu. V praxi je však energetická výtěžnost 90 až 95 %, protože vedle ethanolu vznikají vedlejší produkty, například glycerín. Fermentace cukrů může probíhat pouze v mokrém (na vodu bohatém) prostředí. Vzniklý alkohol je nakonec oddělen destilací.

Získaný ethanol je vysoce hodnotné kapalné palivo pro spalovací motory. Jeho přednostmi jsou ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nedostatkem ethanolu jako paliva je schopnost vázat vodu a působit korozi motoru, což lze odstranit přidáním antikoročních přípravků.

V USA probíhají výzkumy výroby etanolu z celulózy pomocí speciálně vyšlechtěných mikroorganismů. Etanol lze pak získat i ze dřeva, slámy nebo sena.

6.2.2.2. Bioplyn

Bioplyn - Při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku vzniká bioplyn. Tento proces, kdy se organická hmota štěpí na anorganické látky a plyn, vzniká díky bakteriím pracujícím bez přístupu kyslíku (anaerobně). Rozkládání víceméně odpovídá procesům probíhajícím v přírodě s tím rozdílem, že v přírodě probíhají i za přítomnosti kyslíku (aerobní procesy). Proto jsou meziprodukty těchto procesů odlišné a také chemické složení konečných produktů se liší. Zbytky vyhnívacího procesu jsou vysoce hodnotným hnojivem nebo kompostem.

Obvykle bioplyn obsahuje 55 - 70 % objemových procent metanu. Z závislosti na procentuálním obsahu metanu se výhřevnost bioplynu pohybuje v rozmezí 19,6 - 25,1 MJ/m³. V praxi se prokázala závislost na druhu zpracovávaných exkrementů, u kejdy skotu je výhřevnost 19,6 - 22 MJ/m³, u kejdy prasat 22 - 23 MJ/m³.

Ze zemědělských odpadů se v největší míře využívá kejda (tekuté a pevné výkaly hospodářských zvířat promísené s vodou), případně i slamnatý hnůj, sláma, zbytky travin, stonky kukuřice, bramborová nať a další. Slámu, piliny a jiný odpad je možné zpracovávat také tímto způsobem, ale proces trvá déle.

V bioplynovém zařízení se biomasa zahřívá na provozní teplotu ve vzduchotěsném reaktoru. Optimální teplotní pásma jsou vázána na různé kmeny bakterií:

Bakterie	Teplota fermentovaného materiálu [°C]
Bakterie psychrofilní	15 - 20
Bakterie mezofilní	37 - 43
Bakterie termofilní	55

tabulka 25: Optimální teplotní pásma anaerobních bakterií.

Bioplynový potenciál v hnoji závisí na obsahu sušiny a na složení a strávení potravy. Většina bioplynových technologií je založena na zpracování kejdy nebo tekuté rozemleté biomasy. V našich podmínkách se používají zejména dvě základní technologie na zpracování kejdy (kontinuální systém) a na zpracování slamnatého hnoje (zásobníkový systém), což je řešení originální, patentované, ve světě nepoužívané. Ve fermentoru zůstává hmota pevně stanovenou dobu (většinou experimentálně ověřenou), která se nazývá dobou zdržení. U zásobníkových systémů je to obvykle 28 dní. U kontinuálních systémů se velikost zásobníků navrhuje podle optimální doby zdržení.



obrázek 23: Zásobníkový systém na zpracování slamnatého hnoje v Jindřichově. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT.



obrázek 24: Kontinuální systém na zpracování kejdy v Dánsku. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT.

Materiál	Produkce bioplynu	Obsah metanu
	[m ³ /kg organické sušiny]	[%]
Uhlohydráty	0,79	50
Tuky	1,25	68
Proteiny	0,7	71

tabulka 26: Produkce bioplynu z hlavních složek organických látek. [49]

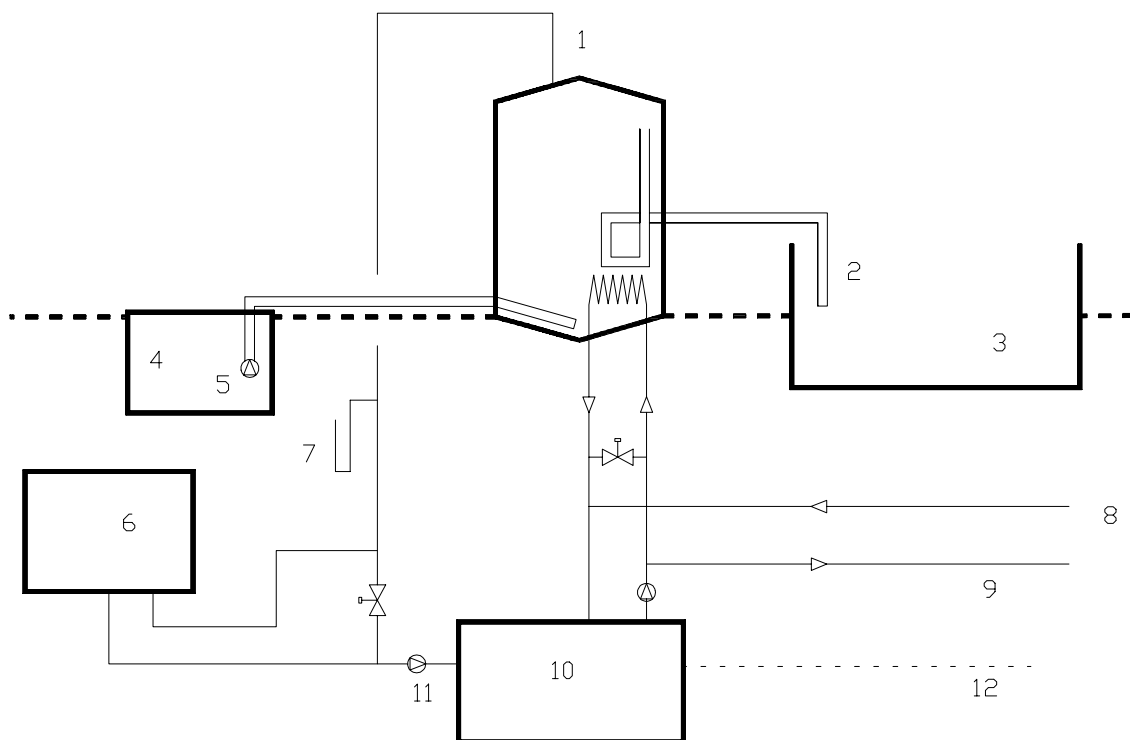
Druhy a kategorie zvířat	Sušina výkalů vč. moče [kg/den]	Výkaly celkem průměrně [kg/den]	Množství bioplynu [m ³ /den]
Hovězí dobytek průměr:			
Dojnice (550 kg)	6	60	1,7
Hovězí dobytek žír (350 kg)	3	30	1,2
Odchov jalovic (330 kg)	3,5	35	0,9
Telata (100 kg)	1,25	12 až 15	0,3
Prasata průměr:			
Výkrm (70 kg)	0,5	8,5	0,2
Prasnice (170 kg)	1	14	0,3
Prasnice se selaty (90 kg)	0,55	9	0,2
Selata (10 kg) menší	0,15	3	0,1
Selata (23 kg) větší	0,25	4	0,15
Kanci (230 kg)	1,3	18,5	0,3
Drůbež průměr:			
Nosnice (2.2 kg)	0,036	0,15 až 0,3	0,016
Broiler (0.8 kg)	0,02	0,009	
Kuřice (1.1 kg)	0,02	0,009	

tabulka 27: Orientační klíčová čísla pro odhad množství vyrobeného bioplynu za rok od jednotlivých kategorií zvířat. [49]

Výše uvedené údaje se však podle jednotlivých autorů a experimentálního uspořádání liší, jak ukazuje následující tabulka:

Zvíře	Hmotnost zvířete	Moč a trus	Podíl org. suš.	Doba středn. vyhnívání	Objem reaktoru	Produkce plynu na 1 zvíře
Jednotky	[kg]	[kg/den]	[kg/den]	[dny]	[m ³]	[m ³ /den]
Slepice	1,5	0,2	0,03	75	0,015	0,015
Kuře (broiler)	0,8	0,15	0,02	66	0,01	0,012
Sele	20	1,8	0,09	17	0,03	0,04
Prase výkrm	20-50	4	0,2	18	0,07	0,07
Prase výkrm	50-80	6	0,3	20	0,12	0,11
Prase výkrm	80-100	7,6	0,38	21	0,16	0,14
Prasnice	160	11,5	0,56	22	0,25	0,2
Tele	120	7	0,22	13	0,09	0,08
Býk výkrm	120-350	22	1,7	18	0,4	0,5
Býk výkrm	350 a více	42	3,5	31	1,3	1
Jalovice	120-300	20	1,2	20	0,4	0,39
Jalovice	300-500	38	3	35	1,33	0,85
Dojnice	500-600	50	4,5	40	2	1,2
Podestýlka sláma	1 -		0,7	80	0,08	0,21
Krmení zbytky	1 -		0,25	35	0,035	0,14

tabulka 28: Výroba bioplynu z exkrementů v živočišné výrobě od jednotlivých druhů zvířat podle výzkumu a praxe.



obrázek 25: Schéma bioplynové stanice, kontinuální systém.

Legenda: 1) Odvod bioplynu, 2) Přepad kalu, 3) Zásobník odplyněné kejdy, 4) Nová sběrná nádrž, 5) Kalové čerpadlo, 6) Plynojem, 7) Vodní uzavěr, 8) Připojení ke stávajícímu dálkovému vytápění, 9) Teplo z kogenerační jednotky, 10) Kogenerační jednotka, 11) Dmychadlo, 12) Elektřina z kogenerační jednotky.

6.2.2.3. Skládkový plyn

Skládkové plyny – na skládkách TKO dochází ke složitým biologickým pochodům, jejichž důsledkem je tvorba skládkového plynu. Složení plynu se mění v průběhu let. Ve stabilizované fázi lze počítat s následujícím složením:

CH ₄	52 – 70 % (objemových)
CO ₂	25 – 45 % (objemových)
N ₂	1 – 3 % (objemových)

Průměrné množství TKO na jednoho obyvatele na rok je asi 310 kg. Z toho množství je přibližně 35 % organického původu a z něhož lze odhadovat přibližnou produkci 0,3 m³/kg.

6.2.3. Mechanicko-chemická přeměna

6.2.3.1. Bionafta

Bionafta - Řepka je cennou surovinou pro výrobu rostlinných tuků, bionafty a rostlinných mazacích olejů. Z řepkového semene se lisuje olej, který se za působení katalyzátoru a vysoké teploty mění na metylester řepkového oleje, jenž je použitelný jako bionafta. Nazývá se "bionafta první generace".

Protože výroba metylesteru je dražší než běžná motorová nafta mísí se buď s některými lehkými ropnými produkty, nebo s lineárními alfa-olefiny, aby jeho cena mohla konkurovat běžné motorové naftě. Tyto produkty se nazývají "bionafty druhé generace", musí obsahovat alespoň 30 % metylesteru řepkového oleje, zachovávají si svou biologickou odbouratelnost a

svými vlastnostmi, jako je např. výhřevnost, se více přibližují běžné motorové naftě. Jejich výroba se řídí ČSN 656507, která pojednává o výrobě biopaliv.

6.3. Sběr dat v rámci ÚEK

6.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití

Biomasa je v současnosti využívána zejména decentralizovaně v lokálních topeništích a malých kotlích v rodinných a bytových domech (palivové a odpadní dřevo), v menší míře i ve větších zdrojích (průmyslové zdroje v dřevozpracujícím i jiném průmyslu, blokové kotelny, zdroje CZT). Vzhledem k tomu, že biomasa (palivové dřevo) je velmi často spalována v kombinaci s tuhými palivy, je třeba při odhadu jejího využití brát v úvahu i tuto skutečnost.

Při stanovení současného využití biomasy v rámci regionálních energetických dokumentů je možno pro větší zdroje (nad 200 kW) vycházet zejména z údajů databází REZZO 1 a REZZO 2, které by měly být základními podklady pro tvorbu energetické bilance obce či regionu.

Údaje o malých zdrojích (do 200 kW) je možno získat od obecních úřadů, pokud tyto úřady údaje o těchto zdrojích znečišťování ovzduší na svém území shromažďují a aktualizují.

Další možností je sběr dat formou dotazníků, eventuálně i odhad na základě údajů ze sčítání lidu, bytů a domů, které obsahují počty a plochy bytů a druhy vytápění. Pokud se při odhadu spotřeby biomasy v lokálních topeništích a malých zdrojích vychází těchto údajů (eventuálně zpřesněných dostupnými údaji z dotazníkového sběru dat či dalších informačních zdrojů), je možno při odhadu vycházet z těchto průměrných ukazatelů:

Měrná spotřeba na m ² celkové plochy, u etážového vytápění	0,65 GJ/m ² .rok
Měrná spotřeba na m ² obytné plochy, u lokálního vytápění	0,65 GJ/m ² .rok
Průměrná účinnost - etážové vytápění	0,7
Průměrná účinnost - lokální vytápění	0,65
Průměrná výhřevnost biomasy (dřeva)	13,5 GJ/t

tabulka 29: Průměrné ukazatele účinnosti, výhřevnosti a měrných spotřeb.

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
ČSÚ - údaje ze sčítání lidu, bytů a domů	4	2 (Celá ČR)	Údaje ze sčítání lidu, bytů a domů 1991 je možno využít pouze jako doplňující zdroj dat zejména vzhledem k tomu, že se jedná o data dosti zastaralá. Navíc jsou k dispozici pouze počty instalací zařízení pro využití sluneční energie bez dalších zpřesňujících parametrů. Po zpracování a publikaci výsledků sčítání lidu 2001 bude přesnost těchto dat
Databáze REZZO1 - velké zdroje nad 5 MW	1-2	1-2	Vybraná data z databáze by na vyžádání měl poskytnout ČHMÚ
Databáze REZZO2 - střední zdroje 0,2 - 5 MW	1-2	1-2	Vybraná data z databáze by na vyžádání měl poskytnout příslušný okresní úřad
městské a obecní úřady - malé	2-4	2-4	V případě, že městské a obecní úřady tyto zdroje sledují (pro účely poplatků za znečišťování)

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
zdroje do 200 kW			
ČEA	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty na využití biomasy)	Pro účely energetických generelů je možno získat z ČEA poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat ze SFŽP poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci programů státní podpory.
Dodavatel ské firmy	1 - 2	3 - 4 (pouze)	V případě, že klíčové dodavatelské firmy jsou ochotny poskytnout údaje o jimi instalovaných zařízeních (např. formou referenčních listů).

tabulka 30: Zdroje dat pro odhad současného využití energie biomasy energie (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

6.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu

Pro stanovení využitelného potenciálu biomasy neexistuje jednotná metodika včetně možných zdrojů dat. Aby bylo možné stanovit potenciál využití biomasy (a eventuelně i kapalných a plyných biopaliv) opravdu komplexně, je třeba shromáždit celou řadu velmi různorodých a více či méně přesných dat. Mezi tato data patří:

- struktura využití půdy
- plochy orné půdy
- struktura pěstovaných plodin na orné půdě
- průměrné hektarové výnosy
- struktura a intenzita živočišné výroby (stavy hosp. zvířat)
- struktura lesních ploch
- objemy těžby dřeva
- objemy zpracování dřeva
- produkce palivového a odpadního dřeva
- objemy produkce dřevozpracujících podniků

Je nutno poznamenat, že řada údajů je obtížně zjistitelná, vzhledem k přístupu soukromých subjektů poskytovat o sobě jakékoliv detailní informace (drobní soukromí vlastníci zemědělské a lesní půdy, dřevozpracující podniky. Základní informace jsou zjistitelné z publikací ČSÚ (Okresy České republiky, Malý lexikon obcí, Statistická ročenka, Okresní a regionální statistický obzor, Statistický bulletin aj.). Informace o BPEJ lze většinou získat na okresních úřadech.

6.4. Metodické postupy pro účely ÚEK

Pro stanovení energetického potenciálu biomasy v daném regionu je nejdůležitější stanovení možností využití biomasy v následujících kategoriích:

1. Biomasa odpadní:

- Rostlinné odpady ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny - řepková a kukuřičná sláma, obilná sláma, seno a zbytky po likvidaci křovin a náletových dřevin, odpady ze sadů a vinic, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch.
- Lesní odpady (dendromasa) - po těžbě dříví zůstává v lese určitá část stromové hmoty nevyužitá jednak pařezy, kořeny, kůra, vršky stromů, větve, šišky, jednak vyprodukovaná dendromasa z prvních probírek a prořezávek.

Jedná se o zásahy z pěstitelského hlediska nezbytné opatření, ale neposkytující tržní sortiment. Potenciál produkce lesních dřevin tak není využíván.

Množství dřevního odpadu z okolních lesů z probírek a odpad při těžbě je nutné ověřit. Čísla se značně liší a v mnoha případech se ukazuje, že veškerý potenciál je již využit jako deputátní, zejména v lesích zvláštního určení, kde je rozsah probírek značně omezen.

- Organické odpady z průmyslových výrob - spalitelné odpady z dřevařských provozoven (odřezky, piliny, hobliny, kůra), ale i odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce (cukrovary), odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, konzerváren.
- Odpady ze živočišné výroby - hnůj, kejda, zbytky krmiv, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit.
- Komunální organické odpady (kaly, organický TKO).



obrázek 26: Zpracování odpadní biomasy štěpkováním. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT.

2. Biomasa záměrně produkovaná k energetickým účelům:

Energetické plodiny	Druhy energetických plodin
Lignocelulóznové	Dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty,...)
	Obiloviny (celé rostliny)
	Travní porosty (sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty,...)
	Ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka,...)
Olejnate	Řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno...
Škrobo-cukernaté	Brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice,...

tabulka 31: Energetické plodiny.

6.4.1. Pěstování biomasy pro energetické účely

Pěstování biomasy pro energetické účely - Pro energetické plantáže je velmi důležitá volba plodiny. Druh energetické plodiny je určován mnoha faktory - druhem půd, způsobem využití a účelem, možností sklizně a dopravy, druhovou skladbou v okolí. Předem se musí porovnat náklady na pěstování a na výrobu (spotřebu energie) a výnosu (zisku) energie.

Pro plantáže energetických rostlin lze využívat zejména zemědělsky nepotřebnou půdu, například kolem dálnic. U nás jsou velmi vhodná popílkoviště a výsypky v severních Čechách, jež nemají jiné vhodnější využití a kde může pěstování biomasy pomoci navrátit krajinu jejímu původnímu účelu. Je možné také využít dříve tradičních ploch mezí, remízků a okolí potoků, které tvořily kdysi přirozené živé ploty.

Z bylin jsou zajímavé rostliny produkující cukr, škrob nebo olej. Například brambory, cukrová řepa, slunečnice a zejména řepka (řepkový olej se zpracovává na naftu a mazadla, řepková sláma se použije ke spalení).

Plodina/termín	Výhřevnost [MJ/kg]	Vlhkost [%]	Výnos [t/ha]		
			min.	prům.	opt.
1. Sláma obilovin (VII-X)	14	15	3	4	5
2. Sláma řepka (VII)	13.5	17-18	4	5	6
3. Energetická fytomasa – orná půda (X-XI)	14.5	18	15	20	25
4. Rychlerostoucí dřeviny – zem. půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
5. Energetické seno - zem. půda (VI;IX)	12	15	2	5	8
6. Energetické seno - horské louky (VI;IX)	12	15	2	3	4
7. Energetické seno - ostatní půda (VI-IX)	12	15	2	3	4
8. Rychlerostoucí dřeviny – antropogenní půda (XII-II)	12	25-30	8	10	12
9. Jednoleté rostliny – antropogenní půda (X-XI)	14.5	18	15	17.5	20
10. Energetické rostliny – antropogenní půda (X-XII)	15	18	15	20	25

tabulka 32: Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, doba sklizně a sklizňová vlhkost energetické fytomasy. [60]

Jako vodítko je pro stanovení potenciálů možné uvést některé běžně používané hodnoty:

- Pro produkci energetických rostlin je možné běžně uvažovat využití cca 50% "nadbytečné" (zemědělská půda, která z různých důvodů leží ladem - dodržení pěstebních kvót, ekonomické důvody,...) zemědělské půdy, zůstatek 50% tvoří rezervu na rozvoj živočišné a rostlinné výroby, na plochy vhodné k převodu do lesního půdního fondu (LPF), na plochy územně roztržité, vzdálené apod.
- Průměrný výnos suché hmoty záměrně pěstované biomasy z 1 ha (byliny i dřeviny) je cca 5 - 12 t/ha (v závislosti na druhu a prostředí).

- Průměrný výnos "zbytkové" biomasy, tzn. porosty záměrně nepěstované, t.j. biomasa z ploch neobhospodařovaných či pouze mulčovaných je uvažován ve výši cca 2,5 t/ha.

6.4.1.1. Produkční podmínky zájmového území

Pro hodnocení produkční schopnosti jednotlivých regionů slouží bonitace zemědělského půdního fondu. Základní oceňovací a mapovací jednotkou je BPEJ - bonitovaná půdně ekologická jednotka, která je určena pětímístným kódem. Příklad 3 01 00, první místo je pro klimatický region - KR, druhé a třetí místo je pro hlavní půdní jednotku - HPJ, ze čtvrtého místa vyčteme svažité a expozici vůči světovým stranám a z pátého místa určíme skeletovitost a hloubku půdního profilu. Uvedené základní charakteristiky jsou výchozí základnou pro produkční odezvu v daných stanovištních podmínkách, pro vymezení tříd ochrany půd, pro oceňování půd a v neposlední řadě pro fiskální účely. V hodnocení produkční schopnosti plodin a dřevin pro energetické účely v zájmovém území vycházíme z bonitace půd a úvodem je předložena tabulka klimatických regionů v České republice.

Kód regionu	Průměrná roční teplota [°C]	Průměrný roční úhrn srážek [mm]
0 VT	9 - 10	500 - 600
1 T1	8 - 9	do 500
2 T2	8 - 9	500 - 600
3 T3	(7) 8 - 9	550 - 650 (700)
4 MT1	7 - 8,5	450 - 550
5 MT2	7 - 8	550 - 650 (700)
6 MT3	7,5 - 8,5	700 - 900
7 MT4	6 - 7	650 - 750
8 MCH	5 - 6	700 - 800
9 CH	5	800

tabulka 33: Charakteristika klimatických regionů ČR. [61]

6.4.1.2. Rychle rostoucí dřeviny (RRD)

Hlavní rozdíl při pěstování energetických dřevin na plantážích proti běžnému způsobu je v době mezi sázením stromů a těžbou dřeva - ta je u plantáží kratší (obmýtní doba je 2 až 8 vegetačních období, životnost plantáže 15 -20 let). Za tuto dobu se vytvoří slabé kmínky a ke sklizni lze použít i konvenční zemědělské stroje. Nejvhodnějšími dřevinami jsou platany, topoly (černý, balzamový), pajasany (pajasan žláznatý), akáty, olše a zejména vrby. Speciální vyšlechtěné klony mají výtěžnost až 15 -18 t sušiny na ha. většinou se však v našich podmínkách dosahuje roční výtěžnosti 10 t/ha.

Hlavní význam pěstování rychle rostoucích dřevin je ekologický, jsou základním prvkem pro biokoridory v územním systému ekologické stability daného území. Významné rychle rostoucí dřeviny rodu Salix jsou vhodné zvláště podél vodotečí a jsou určeny hlavně hydromorfními půdami, které odpovídají svými vlastnostmi pro pěstování rychle rostoucích dřevin. Do české krajiny lze podél vodotečí vysazovat např. domácí topol černý, vrby a další druhy vhodné k výsadbě břehových porostů. Pro obnovu břehových porostů a rozptýlené zeleně v krajině máme v ČR několik dotačních titulů jednak resortu MŽP jedná se o program péče o krajinu, a program revitalizace říčních systémů. Resort MMR pečuje zvláště o zeleň v sídlech a jejich okolí prostřednictvím dotačního titulu z Programu obnovy venkova.

Nevýhody plantáží RRD:

- Energetické využití dřevní štěpky z rychle rostoucích dřevin vyžaduje pro mechanizovanou sklizeň výběr souvislé plochy, která vyžaduje systém výsadby v řádcích nebo dvojřádcích, výběr vhodných produkčních klonů a zajištěnou sklízecí techniku.

- V současné době, tj. konec roku 2000 jsou výsadby plantáží RRD produkčních euroamerických klonů topolů v rozporu se zákonem o ochraně přírody a krajiny 114/92, neboť se jedná o introdukované (cizí) dřeviny.
- V podmínkách dostatečného zásobení obilní a řepkovou slámou není ekonomické uvažovat se založením produkčních plantáží RRD.

6.4.2. Pěstování jednoletých a víceletých plodin pro energetické využití

Ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby v Ruzyni a na dalších pracovištích se ověřují v různých stanovištních podmínkách netradiční plodiny, které produkují vysoké množství biomasy z 1 ha.

Plodina	Termín setí	Výsevek [kg/ha]	Šířka řádků [cm]	Výnos suché hmoty [t/ha]	Spalné teplo (s popelovinou) [GJ/t]
Čirok cukrový Sorghum sacharatum (L.) Moench.	květen	20	25	11,5	17,588
Čirok obecný Sorghum bicolor (L.) Moench	květen	20	25	zrno 5,8	17,633
Hyso (kříženec) Sorghum x Sorghum sudanense	začátek května	24-30	25-30	10,6	17,657
Katrán přímořský Krambe Crambe maritima L.	duben	20	25	zrno 2,09 sl. 2,11	
Konopí seté Cannabis sativa L.	květen	100 15-130	12,5	8,85-10,5	18,060
Koriandr setý Koriandrum sativum L.	duben	20	25		
Laskavec kříženec Sterch. Amaranthus chlorostachys Willd.	duben	0,5-1	50		
Lnička jarní Camelina sativa (L.) Crantz.	březen	10	12,5	zrno 1,8 sl. 2,59	
Lnička ozimá Camelina sativa (L.) Crantz.	konec srpna	10	12,5	zrno 1,8 sl. 3,52	
Proso seté Panicum miliaceum L.	začátek května	20-80	25-30		
Roketa setá Eruca sativa Miler.	duben	5-6	12,5		
Slunečnice setá Helianthus annuus L.	březen-duben	24-30	25-30	8,3	16,7 (výhřevnost)
Sudánská tráva Sorghum sudanense (Piper) Staf in Prain	začátek května	24-30	25-30		
Světlice barvířská Saflor Carthamnus tinctorius L.	březen	20-25	25	zrno 2,59 sl. 4,91	

tabulka 34: Přehled jednoletých plodin pro energetické účely. [61]

Plodina	Termín setí	Výsevek [kg/ha]	Šířka řádků [cm]	Výnos suché hmoty [t/ha]	Spalné teplo (s popelovinou) [GJ/t]
Jestřabina východní <i>Galega orientalis</i> Lam.	duben	20-30	50		
Křídlatka sachalinská <i>Reynoutria sachalinensis</i> (F.Schmidt Petrpolit(Nakai.	jaro, podzim	oddenky	50x50	20,4 30-40	19,444
Mužák prorostlý <i>Silphium perfoliatum</i> L.	duben	15	50		
Sléz kadeřavý <i>Malva crispa</i> L.	duben	5	50		
<i>Miscanthus sinensis gigantea</i>	květen	oddělky	50	30-40	17,-17,5 (výhřevnost)
Sléz meljuka <i>Malva meluca</i> Graebn.	duben	5	50		
Šťovík krmný <i>Rumex patientia</i> L. x <i>R. tianshanicus</i>	duben	6	50	30-40	

tabulka 35: Přehled vytrvalých rostlin vhodných pro energetické účely. [61]

Ověření jednoletých a vytrvalých plodin pro energetické účely na zemědělských půdách probíhá v roce 1996 formou přesných pokusů a nelze v současné době provést jednoznačné vyhodnocení poloprodučního charakteru.

6.4.2.1. Křídlatka sachalinská

Z víceletých rostlin pro energetické využití je známá **křídlatka sachalinská Reynoutria sachalinensis Nakai**, která dosahuje vysokých výnosů 30 - 40 t sušiny z ha. Při pěstování křídlatky sachalinské je nutné respektovat zákon 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny a věnovat výběru stanoviště zvýšenou péči ve spolupráci s orgány státní správy v ochraně přírody.

6.4.2.2. Miscanthus sinensis

Miscanthus sinensis je další velmi diskutovanou energetickou rostlinou. Z literatury je zásadní pro pěstování v České republice:

- doba pěstování na stanovišti je 15 - 20 roků a ročně, ale až po třetím roce pěstování lze docílit 15 - 20 t sušiny z ha,
- optimální dusíkaté hnojení je 60 kg N/ha ročně,
- odolný vůči chorobám a škůdcům,
- nesnáší teploty pod -15° C v zimě, vymrzá,
- vyšší náklady na založení plantáže (130 000 Kč/ha),
- Miscanthus přirozeným způsobem vyschne na pozemku, není potřeba dalších nákladů na snížení obsahu vlhkosti v palivu ,

- v Rakousku byly vyšlechtěny klony s výnosem 8 t sušiny z ha ve druhém roce po výsadbě a až 22 t sušiny z ha ve třetím roce po výsadbě. Ve 4. - 5. roce po výsadbě průměrně 17 t sušiny z ha.

Z uvedeného vyplývá zaměření výzkumu na šlechtění mrazuvzdornosti vybraných klonů vhodných pro stanovištní podmínky České republiky.

6.4.2.3. Konopí seté

Na základě dosavadních výzkumných výsledků a zahraničních zkušeností je výhodné pěstování **konopí setého Cannabis sativa L.** pro energetické účely. Konopí vyžaduje bohaté půdy na živiny, provzdušené, výsev osiva 15 - 130 kg/ha. Ošetření v průběhu vegetace nevyžaduje žádné, sklizeň v říjnu upravenou sklízecí řezačkou podle metodického návodu Agrostroje Pelhřimov, vývojové odd. ing. Dvořák.

V roce 1996 se po delší době opět pěstuje konopí v SRN na několika stovkách hektarů. Německo je tak poslední západoevropskou zemí, ve které se povolilo pěstování konopí setého (*Cannabis sativa*) s nízkým obsahem omamných látek do 0,3 % tetrahydrocannabinolu -THC. Několik let se konopí pěstuje ve Francii, Belgii, Nizozemí, Švýcarsku a bez přerušení v Maďarsku, na Ukrajině a na Balkáně vůbec. Konopí seté se liší právě obsahem THC od konopí indického (*Cannabis marihuana*), které se využívá ve farmakologii. Ve stejných výrobních podmínkách se bez chemického rozboru nedají oba druhy od sebe dosti dobře rozeznat.

Konopí je původem ze střední Asie. V Evropě dosahuje výšky až 4 m a výnosu hmoty 6, 10 až 15 t suché hmoty z ha. Účinné látky z hlediska farmaceutického průmyslu jsou hlavně v květech samičích rostlin, v menší míře i v listech. Konopí je jednoletá rostlina, ale na stanovišti vydrží, pokud se vysemení mnoho let - odtud např. název Konopiště. Zvláštností konopí bylo, že samčí květy odkvétaly později než samičí, ale šlechtěním se rozdíly vyrovnaly, což zvýšilo výnos semene - důležité olejářské suroviny.

Z agrotechnických zásad si uvedeme ty nejdůležitější:

- Konopí seté je použitelné jako rekultivační rostlina. Semeno konopí potřebuje jen 30 dní k vytvoření 25 - 30 cm dlouhého kořene.
- Výsev neprovádíme dříve jak začátkem května. Výsevek semene konopí setého činí na 1 ha 80 kg při šířce řádků 20 cm do hloubky 4 cm. Následuje uvalení povrchu.
- Potřeba hnojiv se udává N: 85 - 145 kg, P₂O₅: 40 - 60 kg, K₂O: 70 - 120 kg, CaO: 130 - 2200 kg na ha. Zvýšená potřeba N a K je v prvních dvou měsících růstu. Udává se zvýšená potřeba vody.
- Značnou předností při pěstování konopí je jeho konkurenceschopnost vůči plevelům. Na každém zkulturněném pozemku je konopí čistou monokulturou.
- Houževnaté stonky odolávají většině systémů sklizňových strojů. Sklizeň se provádí upravenou sklízecí řezačkou na pícniny podle návodu vývojového odd. Agrostroje Pelhřimov. V ČR není k dispozici speciální sklizňový stroj a menší plochy jsou sklizeny zatím ručně. Speciální sklizňová mechanizace se používá v Rusku a v Maďarsku.
- Nové směry ve sklizni konopí. Pro energetické účely je schopna relativně výkonná a ekonomická sklizně konopí jen jednoduchá kolová řezačka, jak prokázal Výzkumný ústav zemědělské techniky v Řepích. Ostatní typy sekačky zejména bubnových se naprosto neosvědčily vzhledem k namotávání stébel. Neuspěla ani jinak výkonná samojízdná sekačka Claas- Jaguar schopná sklízet i rychle rostoucí topoly o síle kmínku do 10 cm.

Rizika při využití pěstování konopí pro energetické účely v ČR:

- Zájem narkomanů, kteří nerozliší konopí seté od konopí indického a kulturu zlikvidují.
- Zahraniční zvláště sklizňová mechanizace je drahá a její nákup je reálný v podmínkách větších ploch např. u rekultivací po těžbě.



obrázek 27: Konopí seté na antropogenní půdě. Foto laskavě zapůjčila Vlasta Petříková.

6.4.2.4. Řepka olejná

Řepka olejná patří z hlediska agroenergetiky k významným plodinám. Řepková sláma má vyšší výhřevnost 15 až 17.5 GJ/t oproti obilní slámě, u které kalkuluje s výhřevností 14.0 - 14.4 GJ/t. V současné době se při sklizni řepky ozimé provádí zároveň drcení slámy s následným zaoráním. Po konzultaci s odborníky rostlinné výroby v zájmovém území lze dočasně adaptér na drcení slámy odstranit, slámu nechat na řádku proschnout a pak teprve slámu lisovat do velkých balíků pro účely spalování.

Pěstování řepky olejné je výhodné pro zemědělce jak z agronomických hledisek, tak i vzhledem k příznivé ekonomice. Řepka má zajištěný odbyt produkce v cenách garantujících rentabilitu.

Hospodářský rok	Sklizňová plocha v ha	Výnos t/ha	Produkce celkem t
1980/81	64 052	2,41	154 100
1985/86	90 712	2,59	234 741
1990/91	105 102	2,90	304 516
1991/92	126 890	2,74	348 292
1992/93	135 895	2,16	292 939
1993/94	166 995	2,26	377 233
1994/95	189 913	2,38	451 628
1995/96	252 675	2,62	662 176
1996/97	226 533	2,30	520 572
1997/98	227 712	2,53	575 264

Hospodářský rok	Sklizňová plocha v ha	Výnos t/ha	Produkce celkem t
1998/99	264 300	2,57	680 200
1999/2000	348 900	2,67	931 100

Pramen: ČSÚ, Situační a výhledová zpráva MZe Olejnin

tabulka 36: Sklizňová plocha, hektarové výnosy a celková produkce řepky v ČR.

Výhled pěstování řepky olejné v České republice:

Narůstající spotřeba semene řepky olejné k potravinářskému a nepotravinářskému využití a efektivní zhodnocení na trhu umožňuje rozšiřování osevních ploch, ale za předpokladu dodržení zásad řádné agrotechniky a časového odstupu pro pěstování řepky ozimé. Podle těchto zásad je možné řepku olejnou pěstovat až do 12,5 % maximálního zastoupení na orné půdě a v běžném osevním postupu s minimálně čtyřletým časovým odstupem od předchozí řepky.

6.4.3. Přehled výhřevností paliv a účinností

Druh paliva	Výhřevnost	Výhřevnost
	[MJ/kg]	[MJ/m ³]
Pevná paliva		
Koks	27,50	
Černé uhlí (20,9-31,4)	25,10	
Hnědé uhlí (10,5-17,2)	15,10	
Kapalná paliva		
Petrolej	43,97	
Nafta motorová	42,60	
Těžký topný olej (TTO)	40,30	
Lehký topný olej (LTO)	41,45	
Benzín (střední frakce)	42,70	
Etanol	26,80	
Plynná paliva		
Zemní plyn		34,00
Propan	43,5	
Butan	50,00	
Propan-butan		46,10
Svítiplyn		14,50
Bioplyn - 100 % CH ₄		35,80
Bioplyn - 80 % CH ₄		28,60
Bioplyn - 70 % CH ₄		25,10
Bioplyn - 67 % CH ₄		24,00
Bioplyn - 55 % CH ₄		19,60
Bioplyn skot průměr		21,00
Bioplyn prasata průměr		22,50

tabulka 37: Výhřevnost paliv.

Druh paliva	Obsah vody		Výhřevnost			Měrné hmotnosti		
	[%]		[MJ/kg]			[kg/m ³]=[kg/plm]	[kg/prm]	[kg/prms]
Dřevo obecně	20		14,23					
Buk	15				670	469	275	
Buk	50				1116	781	458	
Dub	15				685	480	281	
Dub	50				1142	799	468	
Borovice	15				517	362	212	
Borovice	50				862	603	353	
Smrk	15				455	319	187	
Smrk	50				758	531	311	
Listnaté dřevo	15	14,605			678	475	278	
Listnaté dřevo	20	13,604						
Listnaté dřevo	25	12,600						
Listnaté dřevo	30	11,599						
Listnaté dřevo	35	10,595						
Listnaté dřevo	40	9,590						
Listnaté dřevo	45	8,590						
Listnaté dřevo	50	7,585			1130	791	463	
Listnaté dřevo	55	6,584						
Listnaté dřevo	60	5,580						
Jehličnaté dřevo	15	15,584			486	340	199	
Jehličnaté dřevo	20	14,526						
Jehličnaté dřevo	25	13,464						
Jehličnaté dřevo	30	12,406						
Jehličnaté dřevo	35	11,344						
Jehličnaté dřevo	40	10,282						
Jehličnaté dřevo	45	9,223						
Jehličnaté dřevo	50	8,161			810	567	332	
Jehličnaté dřevo	55	7,103						
Jehličnaté dřevo	60	6,041						
Polena (měkké dřevo)	0	18,56				355,00		
Polena (měkké dřevo)	10	16,40				375,00		
Polena (měkké dřevo)	20	14,28				400,00		
Polena (měkké dřevo)	30	12,18				425,00		
Polena (měkké dřevo)	40	10,10				450,00		
Polena (měkké dřevo)	50	8,10				530,00		
Polena (měkké dřevo)	60	6,00						
Dřevní štěpka	10	16,40						170,00
Dřevní štěpka	20	14,28						190,00
Dřevní štěpka	30	12,18						210,00
Dřevní štěpka	40	10,10						225,00
Smrková kůra	0	18,80						
Smrková kůra	10	16,70						
Smrková kůra	15	15,47						
Smrková kůra	20	14,60						
Smrková kůra	25	13,36						
Smrková kůra	30	12,50						
Smrková kůra	35	11,25						
Smrková kůra	40	10,50						
Smrková kůra	45	9,15						

Druh paliva	Obsah vody	Výhřevnost	Měrné hmotnosti		
	[%]	[MJ/kg]	[kg/m ³]=[kg/plm]	[kg/prm]	[kg/prms]
Smrková kůra	50	8,40			
Smrková kůra	55	7,04			
Smrková kůra	60	6,30			
Sláma obilovin	10	15,49		120	(balíky)
Sláma kukuřice	10	14,40		100	(balíky)
Lněné stonky	10	16,90		140	(balíky)
Sláma řepky	10	16,00		100	(balíky)

tabulka 38: Výhřevnost biomasy.

Zdroj tepla	Palivo energie	Účinnost dopravy paliv a energie [%]	Účinnost výroby paliv a energie [%]	Účinnost výroby tepla [%]	Účinnost dopravy nositele tepla [%]	Účinnost spotřebiče tepla [%]	Účinnost celková [%]
Kamna na tuhá paliva	černé uhlí	0,95-0,98	-	0,6	-	-	0,57-0,68
	černouh. brik.	0,95-0,98	0,95	0,7	-	-	0,54-0,64
	hnědouh. brik.	0,95-0,98	0,85	0,55-0,65	-	-	0,44-0,54
	koks	0,95-0,98	0,82	0,65-0,75	-	-	0,52-0,62
	dřevo - polena	0,95-0,98	0,99	0,7	-	-	0,66-0,68
Kamna na kapalná paliva	LTO, nafta	0,98-0,99		0,6-0,7	-	-	0,59-0,69
Plynová otopná tělesa	svítiplyn	0,92	0,52	0,70-0,82	-	-	0,33-0,4
	zemní plyn	0,9	-	0,70-0,82	-	-	0,63-0,74
El. otopná tělesa	el. energie z kondenz. elektr.	0,87-0,96	0,30-0,35	0,98	-	-	0,26-0,33
Domovní kotelny	hnědé uhlí		-	0,60-0,65	-	0,96-0,98	0,55-0,64
	černé uhlí	0,95-0,98	-	0,63-0,70	-	0,96-0,98	
	koks		-	0,65-0,75	-	0,96-0,98	0,62-0,74
	svítiplyn	0,92	0,52	0,85-0,92	-	0,96-0,98	0,66-0,76
	zemní plyn	0,9	-	0,85-0,92	-	0,96-0,98	0,69-0,76
	kapalná paliva	0,97-0,99	-	0,80-0,85	-	0,96-0,98	0,62-0,74
Výtopna	hnědé uhlí	0,95-0,98	-	0,70-0,75	0,90-0,95	0,96-0,98	0,57-0,69
	černé uhlí	0,95-0,98	-	0,72-0,77	0,90-0,95	0,96-0,98	0,59-0,71
	zemní plyn	0,9	-	0,85-0,92	0,90-0,95	0,96-0,98	0,66-0,77
	kapalná paliva	0,98-0,99	-	0,80-0,85	0,90-0,95	0,96-0,98	0,68-0,79
	dřevo - štěpka	0,95-0,99	0,95	0,80-0,85	0,90-0,95	0,96-0,98	0,62-0,74

tabulka 39: Účinnost využití paliv a energie v různých typech vytápěcích systémů.

7. Energie vody

7.1. Možnosti využití

7.1.1. Přeměna energie

Energii z vody je možno získat jednak využitím jejího **proudění** - energie pohybová, kinetická a jednak jejího **tlaku** - energie potenciální, tlaková, nebo také obou těchto energií současně. Podle způsobu využívání potom rozlišujeme i používané typy vodních strojů.

Kinetická energie je ve vodních tocích dána rychlostí proudění a rychlost je potom závislá na spádu toku. Využití této energie je možné vodními stroji **rovnotlakými**, které jsou založeny na rotačním principu, vhodném pro další využití. Z vodních strojů jsou to hlavně **vodní kola**, turbíny typu **Bánki** a **Pelton**. Optimálnější využití však vyžaduje, aby obvodová rychlost stroje byla nižší, než je rychlost proudění. Pokud je obvodová rychlost otáčení stejná, lopatky vlastně pouze ustupují proudu bez možnosti převzetí energie a jakékoliv zatížení. Otáčky těchto strojů jsou pomalé - uvádějí se jako stroje s nízkou rychloběžností. Stroje rovnotlaké jsou tedy takové, kde tlak na lopatky způsobený poloviční obvodovou rychlostí než je rychlost proudění, je po celé cestě předávání energie stejný. Dalším znakem těchto strojů je částečný ostřík. Znamená to, že voda vstupuje do turbíny pouze v některé její části obvodu, nebo v některých určitých částech, ale nezahltí celý obvod plynule.

Energie potenciální - tlaková vzniká získáním hladiny vody o vyšším potenciálu, ze kterého potom proudící voda přechází vhodným přivaděčem do potenciálu s nižší hladinou. Rozdíl těchto dvou potenciálů potom vytváří tlak, který se využívá ve strojích, kterým říkáme **přetlakové - reakční**. Do této oblasti patří turbíny typu **Kaplan**, **Francis**, **Refenstein**, různé typy **turbin vrtulových** a vhodná **čerpadla v turbínovém provozu**. U tohoto typu přetlakových turbin se část tlaku vody přemění v rychlost pro zajištění požadovaného průtoku a zbylý tlak se postupně snižuje při průchodu lopatkou turbíny a v místě kde ji opouští je prakticky využit. Společnou vlastností přetlakových turbin jsou otáčky oběžného kola turbíny, které jsou několikanásobně vyšší, než absolutní rychlost proudění.

7.1.2. Základní komponenty vodního díla a jejich členění

Vzdouvací zařízení slouží ke vzduť vodní hladiny v toku a usměrnění vody do přivaděče. Patří sem přehradní hráze a jezy.

Hráze se vyznačují obvykle větší výškou vzduť, větším objemem zadržené vody a plochou zaplavovaného území. Jejich nová výstavba pouze za účelem provozování malých vodních elektráren je z ekologických a ekonomických hledisek většinou neúnosná, nicméně využití stávajících hrází může být ekonomicky velmi výhodné. Například u základových výpustí nádrží je nutno mařit energii protékající vody, což je mnohde řešeno rozstřikovacími uzávěry, bez jakéhokoli využití této energie. Přitom tuto funkci může částečně přebrat vodní turbína. Dalším možností je instalace vodní turbíny na přivaděčích pitné vody.

Jezy mají oproti hrázím nižší výšku vzduť a podstatně menší objem zadržené vody. Náklady na jejich výstavbu rostou s jejich šířkou. U toku šířky nad 5 m je obvykle nutná speciální mechanizace, která stavbu značně prodraží. U nížinných toků je zachovalý jez většinou nutnou podmínkou výstavby malé vodní elektrárny. U toků podhorských a horských se většina nákladů přesune na stavbu přivaděče.

Přivaděče koncentrují spád do místa instalace vodní turbíny.

Beztlakové přivaděče (náhony, kanály) se budují převážně výkopem v terénu. Náklady závisí na délce, příčné svažitosti terénu, typu zeminy a s tím souvisejícího druhu opevnění stěn koryta. Nejvýhodnější je opravit náhon původní, případně volit stejnou trasu z důvodu snadnějšího získání a zaměření pozemku.

Tlakové přivaděče jsou nejčastěji zhotoveny z ocelových trub případně ze železobetonu. Měrné náklady na jejich výstavbu jsou vyšší než u přivaděčů beztlakových (náhonů), proto se realizují co nejkratší. Jen pro velký podélný spád toku mohou být výhodnější než beztlakové.

Často se oba typy přivaděčů kombinují s cílem dosažení maximálního spádu a minimálních nákladů.

Česle, strojovna elektrárny, stavební část turbíny

Česle, zhotovované převážně jako mříž z ocelové pásoviny, zabraňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny. Obvykle jsou před turbínou nejméně dvoje: hrubé a jemné, často s automatickým čištěním.

Ve strojovně je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny. Stavební částí turbíny rozumíme takové části vodní elektrárny, které spolu se strojní částí tvoří turbínu jako celek (například základy, nebo betonová spirála). Při volbě typu turbíny musíme brát ohled i na rozměry a konstrukci stavební části, neboť i dražší strojní vybavení může svojí kompaktností celkové náklady snížit.

Odpadní kanály vracejí vodu do původního koryta. Často jsou tak krátké, že náročnost jejich výstavby a náklady jsou vůči ostatním částem elektrárny bezvýznamné. Pro delší kanály se řídíme podobnými kritérii jako u beztlakových přivaděčů.

Technologická zařízení

Typy nejčastěji používaných turbín v závislosti na spádu a průtoku: Kaplan, Francis, Bánki, Pelton, Reifestein, čerpadlo upravené v turbinovém chodu.

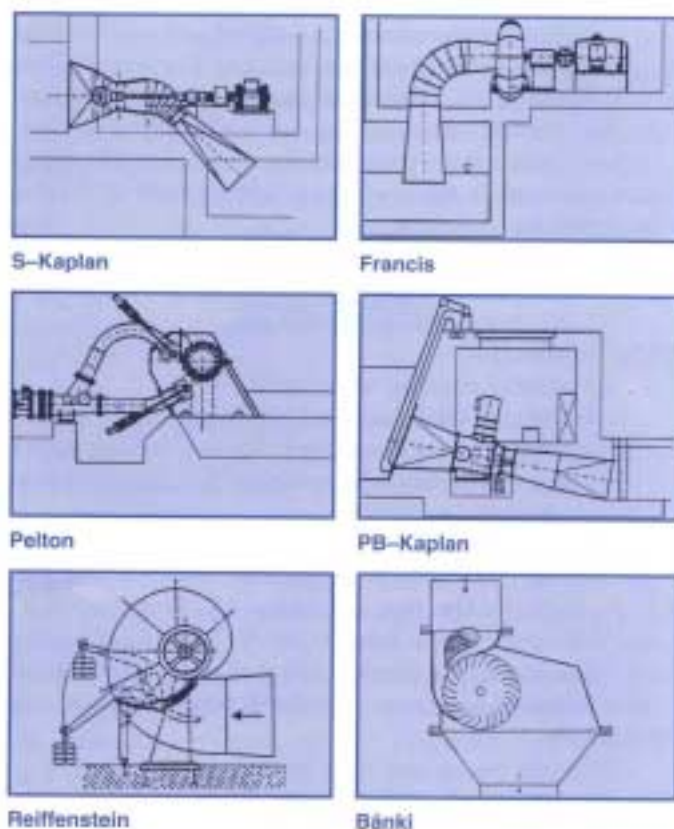
Vodní kolo je dnes už historický vodní motor, který přesto najde uplatnění zejména pro spády do 1 m a průtoky až do několika m^3/s . Výroba je vždy individuální.

Kaplanova turbína je klasická přetlaková turbína v základním provedení výborně regulovatelná, ale výrobně náročná. Dnes ji vyrábí řada firem v České republice s různými úpravami regulace i dispozičním uspořádáním (kolenové či přímoproudé turbíny...). Jsou použitelné pro spády od 1 do 20 m, průtoky 0,1 až několik m^3/s , individuálně až několik desítek m^3/s . Je vhodná zejména pro jezové a říční malé vodní elektrárny.

Francisova turbína je v minulosti nejpoužívanější přetlaková turbína pro téměř celou oblast průtoků a spádů malých vodních elektráren. Při rekonstrukci se můžeme setkat s Francisovou turbínou již od spádu 0,8 m, její oprava se vyplácí zejména do spádu 3 m. Instalace nových turbín v malých vodních elektrárnách se dnes omezuje na spády od 10 m a pro poměrně velké průtoky, a tudíž i vysoké výkony.

Bánkiho turbína je rovnotlaká turbína s dvojnásobným průtokem oběžného kola, výrobně nenáročná. Běžný rozsah použitelnosti je od 1 m do 50 m spádu, ekonomicky výhodná zejména od 4 m spádu. Rozsah průtoků je asi od 50 l/s do několika m^3/s .

Peltonova turbína je rovnotlaká turbína vhodná pro spády nad 30 m. Využitelné průtoky od 10 l/s . Levnější náhradou mohou být v některých případech sériově vyráběná odstředivá čerpadla v reverzním chodu.



obrázek 28: Typy nejčastěji používaných turbín.

Členění turbín

- podle uspořádání na vertikální, horizontální, šikmé, jezové, derivační, přehradové, věžové,
- podle způsobu přivádění vody na přímoproudé, kolenové, kašnové spirální, kotlové,
- podle spádu nízkotlaké (do 10 m), středotlaké (do 100 m) vysokotlaké (nad 100 m),
- podle vodního režimu průtočné, akumulární, vyrovnávací, přečerpávací,
- podle režimu práce základní, špičkové, pološpičkové.

Členění MVE

Za malou vodní elektrárnu je považovaná každá do výkonu 10 MW (dle Směrnic EU do 5 MW). Podrobněji se podle výkonu dělí na:

- průmyslové (od 1 do 10 MW);
- závodní, nebo veřejné (od 100 do 1000 kW);
- drobné, nebo minielektrárny (od 35 do 100 kW);
- mikrozdroje, nebo také mobilní zdroje (pod 35 kW).

7.2. Metodické postupy posuzování potenciálů

Při stanovení hydro-energetického potenciálu se v praxi rozlišuje hrubý (teoretický) a reálně (technicky) využitelný potenciál [14]. Rozhodujícími ukazateli pro využití hydro-energetického potenciálu jsou dva základní parametry - **využitelný spád** a **průtočné množství vody v daném profilu**, který chceme využít.

Práce, kterou vykoná elementární objem vody V , který se v gravitačním poli Země přesune o rozdíl výšek H , můžeme za určitých okolností na základě fyzikálních poznatků popsat následujícím vztahem:

$$A = g \cdot \rho \cdot V \cdot H$$

rovnice 64: Práce elementárního objemu vody v gravitačním poli Země.

kde:

- A je práce [J]
 g je normální tíhové zrychlení Země $g = 9,80665 \text{ [m/s}^2\text{]}$
 ρ je hustota, měrná hmotnost vody $\rho = 1000 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
 H je spád [m]
 V je objem [m^3]

Výkon lze potom vyjádřit vztahem:

$$P = \frac{A}{t} = g \cdot \rho \cdot \frac{V}{t} \cdot H = g \cdot \rho \cdot Q \cdot H$$

rovnice 65: Výkon odpovídající přemístění kapaliny v gravitačním poli za jednotku času t .

kde:

- P je výkon [W]
 H je spád [m]
 Q je průtočné množství vody [m^3/s]
 t je čas [s]

Výkon, který v úseku toku i vykoná voda o středním průtoku $\bar{Q}_i$, který se v gravitačním poli země přesune z úrovně H_{zi} do úrovně H_{ki} , přičemž začátek i -tého úseku udává index z a jeho konec index k , můžeme na základě rovnice 64 a rovnice 65 popsat následujícím vztahem:

$$P_i = g \cdot \rho \cdot \frac{Q_{zi} + Q_{ki}}{2} (H_{zi} - H_{ki}) = g \cdot \rho \cdot \bar{Q}_i \cdot H_i$$

rovnice 66: Potenciální výkon úseku vodního toku mezi dvěma zvolenými profily.

kde:

- P_i je výkon v i -tém úseku toku [W]
 Q_i je střední průtok v i -tém úseku [m^3/s]
 H_i je spád v i -tém úseku toku [m]

Postup z rovnice 66 odpovídá nejrozšířenější metodě výpočtu po jednotlivých úsecích vodního toku podle zásad přijatých Mezinárodním energetickým výborem. Uvažovaný tok se rozdělí na n úseků pomocí profilů, v nichž lze umístit vzdouvací stupně (jezy, přehrad), výšky se volí ve směru toku tak, aby v podélném profilu toku vznikla souvislá kaskáda s vodorovnými hladinami v jednotlivých úsecích. Počítá se tedy s průměrným průtokem v daném úseku toku.

Hrubý hydro-energetický potenciál bývá hodnocen očekávaným výkonem elektráren za předpokladu, že průtok je po celý rok konstantní, rovný střednímu průtoku a nedochází k disipaci energie. Vychází z nadmořských výšek hodnocené oblasti a příslušných průměrných průtoků. Obvykle se stanoví vzhledem ke hladině moře nebo ke kótě hladiny toků na státních hranicích a slouží k evidenčním účelům. Například literatura [14] udává hodnotu ke hraničním kótám pro ČR 18 740 GWh/rok.

Potenciální výkon se počítá pro dvě hodnoty průtoků podle **křivky překročení průtoků v průměrně vodném roce**:

- $Q_{50\%}$ - střední průtok s 50 % pravděpodobností překročení
- $Q_{95\%}$ - minimální průtok s 95 % pravděpodobností překročení

Teoretický hydro-energetický potenciál je dán potom součtem výkonů jednotlivých úseků toku, stanoví se podle následujícího vzorce:

$$P = \sum_{i=1}^n P_{i50\%}$$

rovnice 67: Teoretický hydro-energetický potenciál vodního toku.

kde:

$P_{i50\%}$ je výkon i - tého úseku toku při $Q_{50\%}$ [W]

Všechny úvahy výše jsou vedeny za předpokladu 100 % účinnosti přeměny energie, tedy $\eta = 1$ při bezztrátovém využití spádu a středních průtoků.

Teoretické množství vodní energie unášené vodním tokem za rok lze určit z rovnice 67 vztahem:

$$E = 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot \sum_{i=1}^n P_{i50\%}$$

rovnice 68: Energie unášená vodním tokem za dobu jednoho roku [J/rok].

Reálně (technicky) využitelný hydro-energetický potenciál vodního toku je menší než teoretický protože:

- vodní tok nelze využít celý s ohledem na umístění sídel, komunikací, chráněných území, atd.,
- předpokládané stupně kaskády nelze všechny realizovat,
- působí zde ztráty způsobené třením, ztráty průtoku (např. vodohospodářský plán), hydraulické ztráty, ztráty při převodu hydraulické energie na mechanickou v turbíně, mechanické na elektrickou v generátoru. Využití vodní energie ve formě elektrické energie znamená účinnost přeměny $\eta = 0,75$. [14]

Pro výpočet výkonu a výroby elektrické energie z vodního zdroje jsou průtok, spád a účinnost hydroagregátu, tj. vodní turbíny nebo vodního kola a elektrického generátoru.

7.2.1. Spád

Spád je výškový rozdíl vodních hladin. V praxi se většinou rozlišují dva druhy spádů:

- **hrubý, celkový spád H_b** (brutto), což je celkový statický spád mezi dvěma uvažovanými profily úseku vodního toku, je dán rozdílem hladin v těchto profilech při nulovém průtoku vodní elektrárnou.

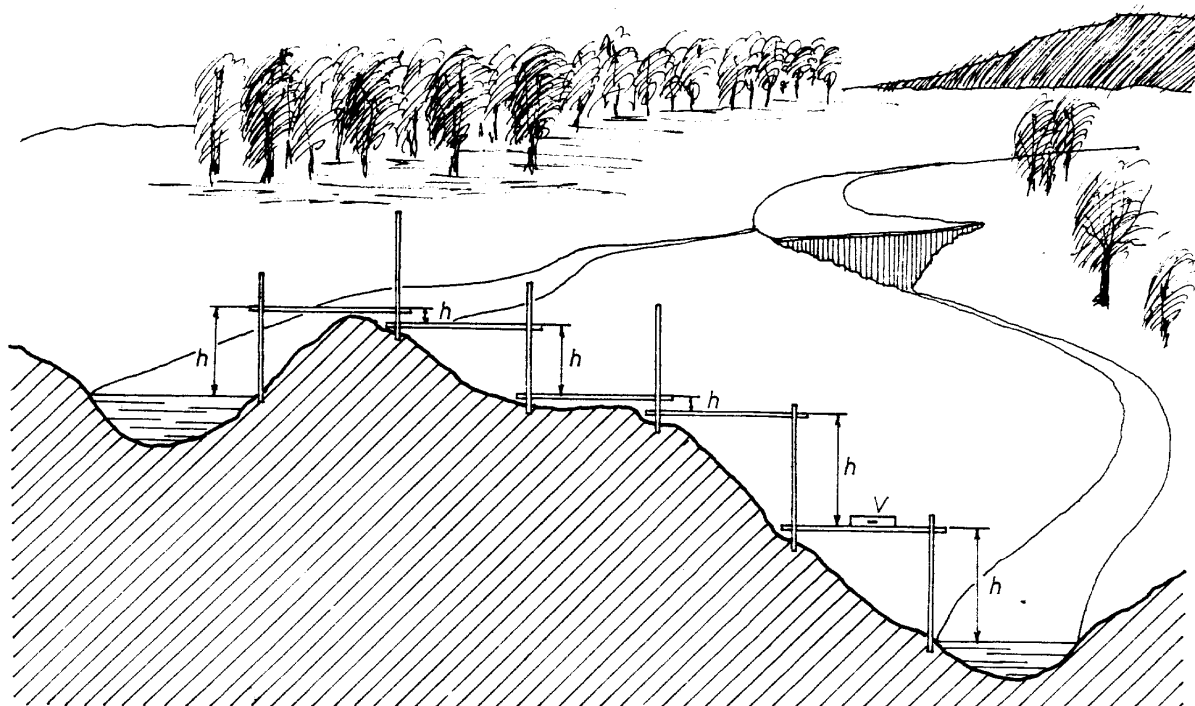
Zejména u děl nízkotlakých je vhodné stanovit spád výškovou nivelací na úseku od vtokového objektu (obvykle nad jezem), po úroveň spodní hladiny na odpadu z turbíny.

Pro hrubé odhady jej lze stanovit z mapových podkladů, např. pro stanovení hrubého nebo teoretického hydro-energetického potenciálu. Tento odhad je poměrně spolehlivý pouze při navrhování vysokotlakých děl, kde se chyba nemusí příliš projevit.

Zaměření není nezbytné provádět nivelačním přístrojem, pro relativně přesný odhad stačí lať s centimetrovým dělením, kde pro vodorovnou záměru postačí běžná vodováha, dalšími možnostmi jsou teodolit nebo hadicová vodováha, viz obrázek 29.

- **užitný (čistý) spád H** (netto) je výškový rozdíl mezi čarami energie těsně před vodním motorem a za ním. Tento energeticky využívaný spád se liší od hrubého spádu odečtením

hydraulických ztrát v přivaděči a odpadu vzhledem ke vzduť spodní vody, poklesu hladiny horní vody při provozu, změnami směru a objemovými ztrátami, které se nezahrnují do účinnosti turbíny. Teprve odečtením všech ztrát na trase před turbínou (v česlích, v přivaděčím kanálu, v potrubí, atp.) získáme spád čistý, tj. pro turbínu užitečný.



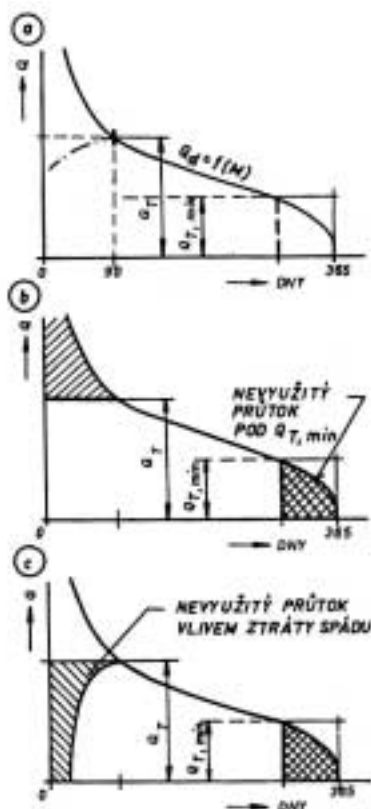
obrázek 29: Určování spádu bez nivelačního přístroje.

7.2.2. Průtok

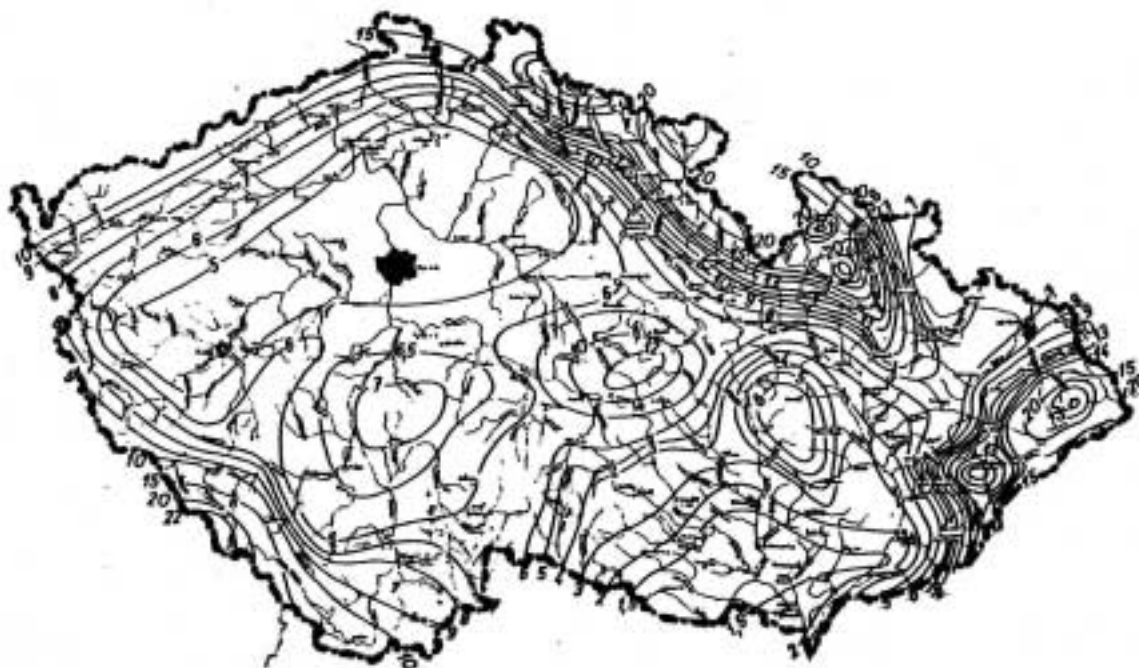
Průtok je průtočné množství vody v daném využitelném profilu. Pro kvalifikovaný odhad postačí např. literatura [23]. Přesně lze průtok zjistit za úplatu pomocí oficiálních údajů Českého hydrometeorologického ústavu, nebo Správy toku - povodí. Výstupem jsou tzv. **dlouhodobý průměrný průtok Q_a** , **N-leté průtoky** (čáry překročení průměrných ročních průtoků) a **M-denní průtoky** (čáry překročení průměrných denních průtoků). Pro využití energie vody jsou nejdůležitější M-denní průtoky, **křivka překročení průtoků v průměrně vodném roce**, která se někdy nazývá **roční odtoková závislost** nebo **M-denní odtoková závislost** (křivka), udává průtok zaručený v daném profilu toku po určitý počet dní. Data se uvádějí číselně v obvyklém členění po 30 dnech v roce viz tabulka 40, nebo graficky viz obrázek 30.

M [dní]	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	355	364
Q [m ³ /s]	2,7	1,9	1,5	1,2	1,0	0,85	0,75	0,6	0,5	0,4	0,34	0,25	0,18

tabulka 40: Příklad M-denní průtokové závislosti.



obrázek 30: Roční odtoková závislost, vlivy na roční výrobu el. energie v důsledku nuceného nevyužití toku: Čára překročení průtoků, ztráta při nízkých průtocích, ztráta při povodňových průtocích. [14]



obrázek 31: Izočáry průměrných specifických odtoků. [14]

Pokud nejsou k dispozici výše uvedené údaje lze na **větších tocích** Q_a a M-denní průtoky stanovit váženou interpolací mezi dvěma známými profily, jim příslušejícím plochám povodí s váhou průměrného specifického odtoku.

Na **menších tocích**, které nejsou uvedeny v atlasu ČHMÚ [23], je možné provést odhad průměrného ročního průtoku Q_a z izochar průměrných specifických odtoků (viz obrázek 31) při známé ploše povodí a poloze odhadované lokality pomocí následujícího vztahu [14]:

$$Q_a = 0,001 \cdot S_0 \cdot P_l$$

rovnice 69: Odhad průměrného ročního průtoku Q_a z izochar průměrných specifických odtoků.

kde:

Q_a je průměrný roční průtok [m^3/s]

S_0 je průměrný specifický průtok [$\text{l}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$]

P_l je plocha povodí příslušející danému profilu toku [km^2]

V těchto případech je třeba počítat s možným nepříznivým průběhem čáry překročení průměrných denních průtoků $Q_{Md} = f(M)$ a s rizikem nevýznamných vodních toků, kde lze očekávat velmi nízké hodnoty specifických odtoků $S_0 < 1,5 \text{ l}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$.

Vodní elektrárny se obvykle dimenzují na 90 ti denní až 180 ti denní průměrný průtok, což ovlivňuje technická úroveň technologie, zejména schopnost turbíny přizpůsobit se regulací změnám průtoku. Většinou se doporučuje brát návrhový průtok blízký devadesátidennímu průměru Q_{90d} , který lze odhadnout ze vztahu:

$$Q_T = Q_{90d} = q \cdot Q_a$$

rovnice 70: Odhad devadesáti denního průměrného průtoku.

kde:

Q_T je návrhový průtok elektrárny [m^3/s]

Q_{90d} je devadesátidenní průměrný průtok [m^3/s]

Q_a je průměrný roční průtok [m^3/s]

q je bezrozměrná konstanta uváděná v rozsahu od 1 do 1,2 - většinou se volí 1,15 - dolní hranice odpovídá malým povodím uvedeným výše

Nejdůležitějším údajem je samozřejmě odhad roční výroby elektrické energie. Pro jeho zjištění je důležitý průběh čáry překročení M-denních průtoků, zejména v oblasti nízkých průtoků - Q_{90d} až Q_{365d} viz obrázek 30. Předpokládáme-li, že turbíny jsou schopné pracovat až do průtoku, který odpovídá přibližně jedné třetině jejich návrhové kapacity Q_T , bude minimální průtok turbínou odpovídat hodnotě:

$$Q_{Tmin} = Q_{250d-260d}$$

rovnice 71: Minimální návrhový průtok vodní elektrárny.

kde:

Q_{Tmin} je minimální návrhový průtok elektrárny [m^3/s]

$Q_{250d-260d}$ je dvěstěpadesáti až dvěstěšedesátidenní průměrný průtok [m^3/s]

Jak bylo uvedeno výše u rovnice 69 zejména u malých povodí ve středních polohách dochází k poklesu pod Q_{Tmin} již při Q_{220d} .

Z rovnice 71 vyplývá, že v případě instalace jedné elektrárny bude tato vyřazena z provozu více než 100 dní. Proto se ve vhodných případech používá instalace dvou turbín, které jsou navrženy optimálně na daný průtok, tomuto řešení musí samozřejmě předcházet i ekonomická optimalizace.

Pro odvození využitelného průtoku v elektrárně je potřeba brát zřetel na tzv. **minimální hygienický (sanitární, sanační) průtok** původním korytem. Sanační množství bývá předepsáno při vodoprávním řízení a odpovídá obvykle 330, 355 nebo 364 dennímu průtoku

vody, který je nutno ponechat v řečišti a nelze s ním kalkulovat pro využití. Roční výroba je potom úměrná ploše ohraničené křivkou výkonu obrázek 30.

7.2.3. Hodnocení lokality

Pro předběžný odhad dosažitelného výkonu malých vodních elektráren lze použít následujícího zjednodušeného vztahu, kde je výkon uveden již v kW, protože ve vztahu je již brán zřetel na měrnou hmotnost vody, která je 1000 kg/m^3 :

$$P = k \cdot Q \cdot H$$

rovnice 72: Zjednodušený vzorec pro výpočet výkonu vodní turbíny.

kde:

- P je výkon [kW]
 Q je průtočné množství vody, průměrný průtok [m^3/s]
 H je spád využitelný turbínou v [m]
 k je bezrozměrná konstanta uváděná v rozsahu od 5 do 7 pro malé vodní elektrárny, 8 - 8,5 pro střední a velké, její velikost ovlivňuje účinnost soustrojí, technická úroveň použité technologie

7.2.4. Účinnost

Účinnost vodního motoru (turbíny) η_t je většinou definována jako poměr skutečného výkonu turbíny P (měřeného na hřídeli) k teoretickému výkonu P_0 :

$$\eta_t = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m = \frac{P}{P_0}$$

rovnice 73: Účinnost turbíny.

kde:

- P je skutečný výkon turbíny na hřídeli [kW]
 P_0 je teoretický výkon [kW]
 η_t je celková účinnost turbíny, pro dobře navržené turbíny má hodnotu 0,8 - 0,94
 η_h jsou hydraulické ztráty, které vznikají při protékání vody jednotlivými částmi turbíny
 η_v jsou objemové ztráty, které vznikají při protékání vody jednotlivými částmi turbíny
 η_m jsou mechanické ztráty, které vznikají třením v ložiscích a ucpávkách turbíny

Celková účinnost hydroagregátu, tedy vodního motoru a elektrického generátoru s transformátorem, je dána vztahem:

$$\eta_c = \eta_t \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr} = \eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_p \cdot \eta_{tr}$$

rovnice 74: Celková účinnost hydroagregátu.

kde:

- η_t je celková účinnost turbíny, pro dobře navržené turbíny má hodnotu 0,8 - 0,94
 η_h jsou hydraulické ztráty, které vznikají při protékání vody jednotlivými částmi turbíny
 η_v jsou objemové ztráty, které vznikají při protékání vody jednotlivými částmi turbíny
 η_m jsou mechanické ztráty, které vznikají třením v ložiscích a ucpávkách turbíny

Z rovnice 72 plyne vztah pro výkon vodní elektrárny:

$$P = 9,80665 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_c$$

rovnice 75: Výkon na prahu vodní elektrárny [kW].

Výroba vodní elektrárny potom bude:

$$E = P \cdot T$$

rovnice 76: Roční výroba energie vodní elektrárny.

kde:

E je množství vyrobené energie během roku [kWh]

P je výkon [kW]

T je počet provozních hodin během roku [h]

Počet provozních hodin během roku se stanoví podle počtu dní M , ve kterých může turbína se zvoleným regulačním rozsahem pracovat.

7.3. Sběr dat v rámci ÚEK

7.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití

Využívání energie vody v malých vodních elektrárnách je vzhledem k tomu, že se ve většině případů jedná o elektrárny, dodávající vyrobenou elektrickou energii do veřejné energetické sítě, poměrně velmi přesně a dopodrobna zmapované. Rozvodné energetické společnosti disponují podrobným přehledem o malých vodních elektrárnách, dodávajících do jimi spravované sítě elektrickou energii. V případě vstřícného přístupu těchto společností je od nich možné pro zpracování regionálního energetického dokumentu získat údaje o výkonech, případně i o celkové dodávce energie z MVE za vybranou lokalitu či region, pokud je v něm umístěno více MVE. V případě menších regionů či jednotlivých malých vodních elektráren však může být získání údajů o dodávce energie problematické vzhledem k tomu podrobné údaje o energii dodané jednotlivými dodavateli jsou považovány za obchodní tajemství.

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
Rozvodné energetické podniky	1 - 2	1	Rozvodné energetické podniky disponují přesnými údaji, jejich získání značně závisí na ochotě data poskytnout.
Povodí	2	1	Údaje o výkonech a lokalizaci jednotlivých MVE. Závisí na ochotě jednotlivých správců povodí data poskytnout.
ČEA	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat od ČEA poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat ze SFŽP poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů	1 - 2	2 - 3	Od SPVEZ, který sdružuje velkou část provozovatelů MVE je možno některé sumární informace za daný region získat na komerčním základě.

tabulka 41: Zdroje dat pro odhad současného využití energie vody (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

7.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
Povodí	2	1	Na komerční bázi. Závisí na ochotě jednotlivých správců povodí data poskytnout.
Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů	1 - 2	2 - 3	SPVEZ je schopen podat některé vybrané údaje nebo konzultace na komerční bázi

tabulka 42: Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu energie vody (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

7.4. Metodické postupy pro účely ÚEK

7.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit

V České republice by tedy měl být stále ještě dostatek lokalit pro výstavbu, nebo obnovu MVE. Pro výstavbu MVE se téměř vždy využívají lokality, které byly v minulosti využívány pro energetické účely, například vodním mlýnem, hamrem či pilou. Zbytky bývalého vodního díla (odtokový kanál, jez apod.) mohou výrazně snížit náklady na výstavbu. Při tom je nezbytné zejména na větším toku, aby bylo v pořádku vzdouvací zařízení (jez).

7.4.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě

Pokud chceme provést odhad co nejpřesněji, je pro výstavbu MVE je potřeba stanovit turbíny, které jsou pro dané lokality vhodné. V ČR je celá řada kvalitních dodavatelských firem, které jsou schopné na klíč zabezpečit nejen dodávku vhodné turbíny, ale i ostatních částí, nebo dodávku „na klíč“ celé MVE. Výběr nejznámějších firem je v literatuře [26]. Dalšími nezbytnými kroky je:

a) zmapování stávajících vodních děl

Např. na základě údajů rozvodných podniků, které evidují funkční MVE viz kapitola 7.3. Odtud lze získat výrobu z MVE v lokalitě.

b) vytipování zbylých využitelných lokalit

Lokality pro využití energie vody jsou v ČR celkem dobře zmapované. Pro odhad ještě využitelného potenciálu lze použít např. studii Výzkumná zpráva č. 12 02 1 120 , zpracovaná v rámci státní úlohy "Komplexní rozvoj hydroenergetiky ČSSR" , Výzkumným ústavem energetickým v r. 1982.

8. Energie prostředí a geotermální energie

8.1. Možnosti využití

8.1.1. Možnosti získávání tepla

Z okolního vzduchu - vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně, případně uvnitř budovy.

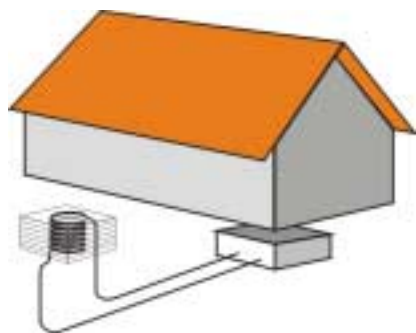
Z odpadního vzduchu - ochlazuje se vzduch odváděný větracím systémem objektu, který má vždy relativně vysokou teplotu a tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, kdy běžně užívané systémy zpětného získávání tepla (rekuperace) nelze použít.

Z povrchových vod - voda v toku nebo rybníku se může ochlazovat tepelným výměníkem umístěným buď přímo ve vodě, nebo zapuštěným do břehu vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Teoreticky je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. V tom případě se však platí poplatky správci toku za odběr vody. Zásadní překážkou ovšem je znečištění povrchové vody a její mineralizace, která bude způsobovat zanášení výměníků a potrubí. Při větší vzdálenosti objektu od potenciálního zdroje se může stavba potrubí neúnosně prodražit.

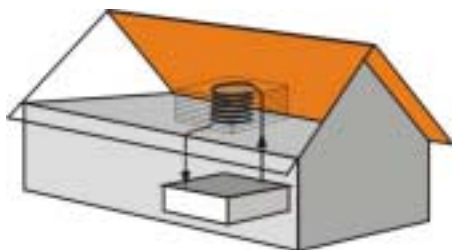
Z půdy - Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu nebo vrtů. Výměník se umísťuje vedle objektu v nezamrzné hloubce. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat trubku ve tvaru uzavřených smyček do výkopového kolektoru, rýhy o hloubce 2 m a šířce 0,9 m. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 metrů délky výkopu. Velmi často se využívá vrtů hlubokých až 150 m. Vrty se umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10 m od sebe. Je možno umístit vrty i pod stavbou, zvláště jde-li o novostavbu. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba 12 až 18 m hloubky vrtu, podle geologických podmínek.

Z podzemní vody - voda se odebírá ze sací studny a po ochlazení se vypouští do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, hloubka hladiny přibližně do 20 m a dostatečná vydatnost zdroje vody, která se ověří dlouhodobým čerpacím pokusem. Důležité je také chemické složení vody. Teplota v zemi v hloubkách větších než 10 metrů je stálá během celého roku a pohybuje se v rozmezí 8 až 10 °C. Proto tepelné čerpadlo pracuje velmi vyrovnaně a účinně, jako v předchozím případě.

Z odpadního tepla z technologických procesů - Tento případ je specifický, vhodný zejména pro výrobní podniky a průmyslové provozy. Například v chladírenských provozech se výhodně používá odpadní teplo na ohřev teplé užitkové vody. Namísto tepelného čerpadla se používají i levnější systémy zpětného získávání tepla.

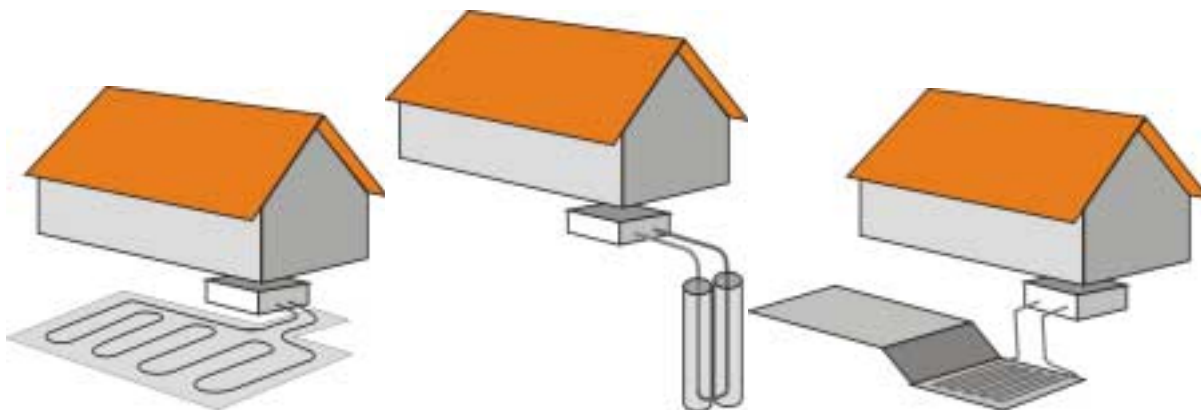


obrázek 32: Tepelné čerpadlo vzduch / voda, vzduch se ochlazuje ve výměníku umístěném vně budovy.



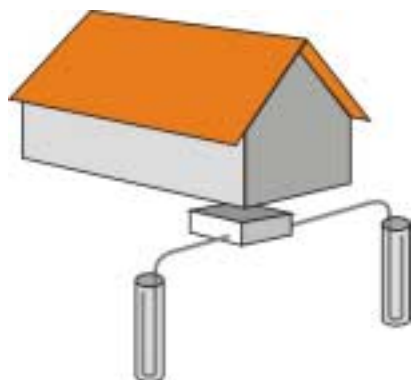
obrázek 33: Oproti předchozímu způsobu je výměník umístěn uvnitř budovy.

Podobně se může ochlazovat vzduch odváděný větracím systémem objektu, tepelné čerpadlo tak může pracovat efektivně i za podmínek, kdy rekuperace není použitelná. Takové systémy se používají zejména v klimatizovaných budovách nebo průmyslových podnicích. Použití vzduchu ve sklepě nebo na půdě jako zdroje tepla není vhodné, protože se tak zvyšují tepelné ztráty sousedních místností.



obrázek 34: Tepelné čerpadlo nemrznoucí kapalina/voda, výměník naplněný nemrznoucí směsí ochlazuje půdu ve vrtu nebo ve výkopu, případně vodu ve vodním toku nebo v rybníce.

V sedmdesátých letech se experimentovalo s využitím vrtů nebo výkopů pro sezónní „uskladnění“ slunečního tepla. Během léta se do nich akumuluje teplo ze slunečních kolektorů a v topném období se pak toto teplo odčerpává. Tepelné čerpadlo sice pracuje efektivněji, ale celý systém je investičně velmi náročný a ekonomicky a energeticky málo efektivní. Sluneční kolektory lze využít také jako přímý zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Podmínkou je použití akumulční nádrže, která je ohřívána solární energií. Tepelné čerpadlo odebírá teplo přednostně z akumulční nádrže, kromě ní však musí mít k dispozici další nízkopotenciální zdroj tepla, (pro případ vyčerpání tepla z akumulční nádrže). Systémy se solárními kolektory však nejsou ekonomicky efektivní, protože se investice navyšují o akumulční nádrž, solární systém, měření rozvody a regulaci.



obrázek 35: Ochlazováním vody čerpané z hluboké (sací) studny, kde je teplota stálá, získáme velmi vyrovnaný a účinný zdroj tepla. Ochlazená voda se vypouští do druhé (vsakovací) studny.

8.1.2. Přehled systémů

Dle způsobu, kterým se uskutečňuje odsávání par z výparníku a zvýšení jejich tlaku na kondenzační, se tepelná čerpadla dělí na:

- **Kompresorová tepelná čerpadla (KTČ)** - nejběžnější druh. Hnací mechanická energie pro pohon kompresoru (pístového, rotačního) může být dodávána spalovacím nebo elektrickým motorem.
- **Absorpční tepelná čerpadla (ATČ)** - zřídka se vyskytující. Pro zvýšení tlaku par je použito pochodu absorpce chladiva do roztoku, jeho přečerpání do vypuzovače a následné vypuzení chladiva z roztoku při kondenzačním tlaku. Hnací tepelná energie může být dodávána parou, horkou vodou nebo spalováním paliva.
- **Hybridní tepelná čerpadla** - obvykle zakázková výroba.

Podle druhu ochlazovaného a ohřivaného média se rozlišují typy tepelných čerpadel.

Typ čerpadla ochlazuje se/ ohřívá se	Možnosti použití
vzduch/voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch/vzduch	jako doplňkový zdroj tepla, též pro teplovzdušné vytápění, klimatizaci,
voda/voda	pro využití odpadního tepla, geotermální energii
nemrznoucí kapalina/voda	univerzální typ pro ústřední vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo zemní kolektor
voda/vzduch	pro teplovzdušné vytápěcí systémy

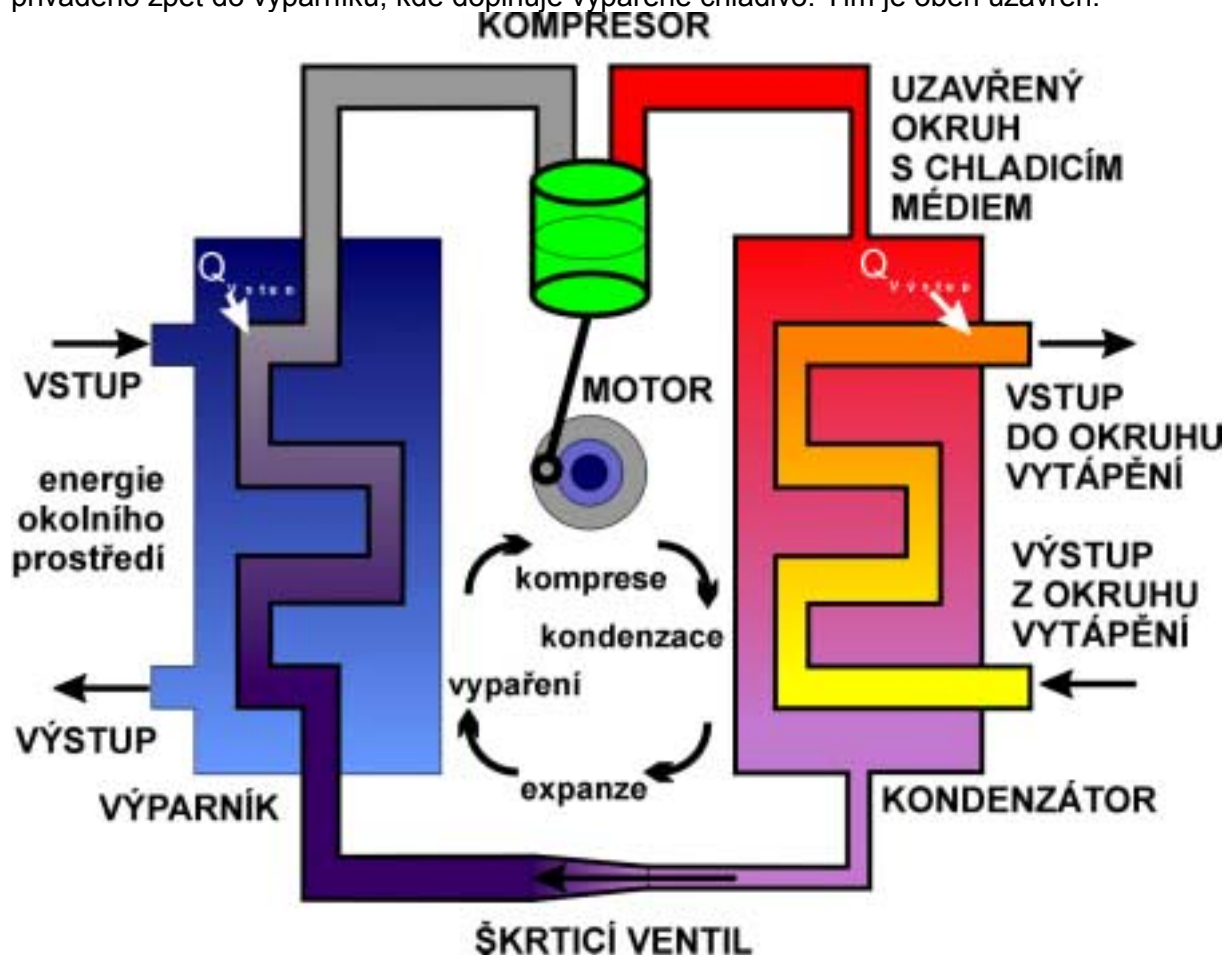
tabulka 43: Nejčastější typy tepelných čerpadel.

8.2. Metodické postupy posuzování potenciálů

8.2.1. Kompresorová tepelná čerpadla

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v minulém století anglickým fyzikem lordem Kelvinem. Tepelná čerpadla umožňují odnímat teplo okolnímu prostředí, převádět na vyšší teplotní hladinu a předávat jej pro potřeby vytápění nebo pro ohřev teplé užitkové vody. O využitelnosti tepelné energie rozhoduje kromě jejího množství zejména teplota látky, na niž je tato energie vázána.

Činnost tepelného čerpadla je založena na pochodech spojených se změnou skupenství v závislosti na tlaku pracovní látky, jež se nazývá chladivo. Ve výparníku odnímá chladivo za nízkého tlaku a teploty teplo ochlazované látky (zdroji nízkopotenciálního tepla), dochází k varu a kapalné chladivo přiváděné do výparníku se postupně mění v páru. Páry chladiva jsou z výparníku odsávány, stlačeny na kondenzační tlak a v kondenzátoru předávají kondenzační teplo ohřívané látce a mění své skupenství na kapalné. Kapalné chladivo je po snížení tlaku přiváděno zpět do výparníku, kde doplňuje vypařené chladivo. Tím je oběh uzavřen.



obrázek 36: Princip tepelného čerpadla.

8.2.1.1. Topný faktor

Spotřeba pohonné energie pro uskutečnění popsaného oběhu chladiva závisí především na množství přečerpávaného tepla a rozdílu mezi teplotou kondenzační a vypařovací. Poměr tepelného výkonu k příkonu kompresoru (resp. energie dodané pro ohřev v energii spotřebované) se nazývá topný faktor ε_T .

$$\varepsilon_T = k \cdot \frac{T_k}{T_k - T_0}$$

rovnice 77: Přibližný vztah pro výpočet topného faktoru KTC.

kde:

T_k je teplota kondenzační (topného systému) [K]

T_0 je teplota vypařovací (teplota zdroje) [K]

k je korekční součinitel respektující skutečný oběh; $k = (0,4 \div 0,6)$

Chladicí výkon 1 kW		Voda	Vzduch	Zemní teplo	Sluneční energie
Průtok zdroje výparníkem	kg/h	215 – 172	891 – 712	217 – 290	217 – 172
Teplotní rozdíl mezi vstupem a výstupem zdroje ve výparníku	K	4-5	4-5	3-4	4-5
Dovolená min. teplota vstup. zdroje do výparníku	°C	8-10	0-(-15)	-15	0-(-4)
Dovolená max. teplota vstup. zdroje do výparníku	°C	20 – 24	20-25	25	20-24

tabulka 44: Orientační hodnoty potřebné vydatnosti zdroje tepla a dovolené vstupní teploty teplotnosné látky do výparníku (Zdroj: Ing. Karel Kodiš, Geoterm s. r. o.).

Pro dosažení minimální spotřeby pohonné energie a dosažení vysoké hodnoty topného faktoru, je zapotřebí:

- Jako zdroje nízkopotenciálního tepla použít látky s co možná nejvyšší teplotou, nepřesahující však maximální teplotu povolenou výrobcem pro daný typ tepelného čerpadla. Vydatnost zdroje nízkopotenciálního tepla musí být dostatečná a ochlazení teplotnosné látky ve výparníku přiměřené, aby teplota vypařovací nemusela být zbytečně nízká a kromě snížení hodnoty chladicího faktoru nedošlo k ohrožení funkce, např. zamrznutím vody.
- Teplotnosnou látku ohřívat vždy jen na nezbytně nutnou teplotu. Např. při vytápění raději použít větší otopnou plochu při nižší teplotě topné vody. Čím menší rozdíl hladin teplot musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebuje. Proto je výhodné tepelné čerpadlo používat např. v kombinaci s podlahovým vytápěním nebo nízkoteplotním vytápěcím systémem. Snížením kondenzační teploty se zvětší nejen topný faktor, ale i výkon tepelného čerpadla.

Během roku topný faktor kolísá v závislosti na vstupní teplotě ochlazovaného média a požadované teplotě výstupní. **Průměrný roční topný faktor** je poměr celoroční spotřeby energie a celoroční produkce tepla a používá se proto pro vyhodnocení provozu. Běžně tepelná čerpadla dodají za ideálních podmínek třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektriny.

8.2.1.2. Použitelnost a využitelnost zařízení

Teplotní rozsah nízkopotenciálního zdroje a spotřebitelského okruhu je omezen použitým chladivem. Podle druhu chladiva je rozsah možných teplot nízkopotenciálního zdroje -10 °C až 10 °C (u průmyslových aplikací 0 až 20 °C), teplota spotřebitelského okruhu je limitována hodnotou většinou 50 °C. Topný faktor se pohybuje většinou v rozmezí 3 - 5.

Zejména v kancelářských prostorách, kde se používají tepelná čerpadla vzduch/vzduch, se často využívá možnosti reverzního chodu, kdy tepelné čerpadlo v létě ochlazuje vzduch v místnostech, zatímco v zimě topí. V zemědělství tepelná čerpadla odpadním teplem z chlazení mléka ohřívají teplou užitkovou vodu. V průmyslových odvětvích se používají kombinace chlazení a ohřevu užitkové vody. Před instalací tepelného čerpadla pro vytápění objektů je obvykle ekonomicky výhodné provést zateplení objektu před instalací. Pro vytápění rodinných domků nebo pro ohřev vody je na našem trhu dostatečný výběr kompaktních tepelných čerpadel.

8.2.2. Absorpční tepelná čerpadla

Absorpční tepelná čerpadla pracují na principu absorpčního chladicího okruhu, kdy je teplo z nízkopotenciálního zdroje přiváděno do výparníku (nízký tlak) a do generátoru (vysoký tlak) je dodávána hnací tepelná energie na vyšší teplotní úrovni (např. pára, horká voda, spalování plynu). Z kondenzátoru (vysoký tlak) a absorberu (nízký tlak) je odváděno využitelné teplo.

Vypařené chladivo proudí z generátoru do kondenzátoru, výparníku a absorberu, kde je ředěn pohlčováním a dodáván zpět do generátoru.

8.2.2.1. Topný faktor

$$\varepsilon_T = \frac{Q_A + Q_K}{Q_G + Q_E}$$

rovnice 78: Topný faktor ATČ.

kde:

- Q_A je teplo odebírané z absorberu [J]
- Q_K je teplo odebírané z kondenzátoru [J]
- Q_G je teplo dodávané do generátoru [J]
- Q_E je energie na pohon čerpadla [J]

8.2.2.2. Použitelnost a využitelnost zařízení

Teplotní rozsah nízkopotenciálního zdroje a spotřebitelského okruhu je omezen použitou dvojicí látek. Obvykle se u ATČ používá dvou pracovních látek, většinou vodního roztoku čpavku a lithium bromidu. Při použití roztoku čpavek - voda může být teplota zdroje maximálně 40 °C a teplota spotřebitelského okruhu 70 °C, při použití vodního roztoku bromidu lithného může být teplota nízkopotenciálního zdroje až 90 °C a teplota spotřebitelského okruhu až 110 °C. Topný faktor se pohybuje potom v rozmezí 1,3 - 1,7.

8.2.3. Ekologie provozu

V minulosti používané „tvrdé freony“ (CFC, CKW) typy R11, R12 byly nahrazeny „měkkými freony“ (HCFC, FCKW), nejčastěji typem R22 a R134a, které poškozovaly ozónovou vrstvu podstatně méně. Nyní se nejvíce používají typy R407c a R404c a v důsledku nových technologií se přechází na propan, který ozónovou vrstvu nepoškozuje. Při likvidaci nebo opravě zařízení je nutno freonovou náplň odsát, aby neunikla do atmosféry. Na trhu jsou i bezfreonová zařízení plněná propanem. U průmyslových aplikací se běžně používá čpavek, který je však jedovatý, a je proto třeba dbát bezpečnostních opatření pro případ havárie.

Uvažujeme-li průměrné ztráty při výrobě a přenosu elektřiny 70% a při jiných způsobech získávání tepla 30%, z hlediska spotřeby primárních zdrojů je žádoucí, aby tepelné čerpadlo mělo průměrný roční topný faktor alespoň 2,33, což je celkem běžné.

8.3. Sběr dat v rámci ÚEK

8.3.1. Zdroje dat pro odhad současného využití

Protože využívání geotermální energie a energie prostředí za pomoci tepelných čerpadel má decentralizovaný charakter, je pro účely energetických generelů možno využít pouze odborných odhadů zpřesněných různými dalšími, více či méně přesnými, doplňujícími zdroji dat. Pro odhady současného využití geotermální energie a energie prostředí za pomoci tepelných čerpadel (počty zařízení, výkony) je možno využít dotazníkového sběru dat, případně znalosti místních podmínek v daném regionu či lokalitě. Pro doplňující odhady výroby energie v typické instalaci tepelného čerpadla pro rodinný domek v podmínkách ČR lze jako vodítko vzít údaj průměrný tepelný výkon cca 12 kW s topným faktorem cca 3. Roční výroba takovéto instalace je zhruba 21 000 kWh.

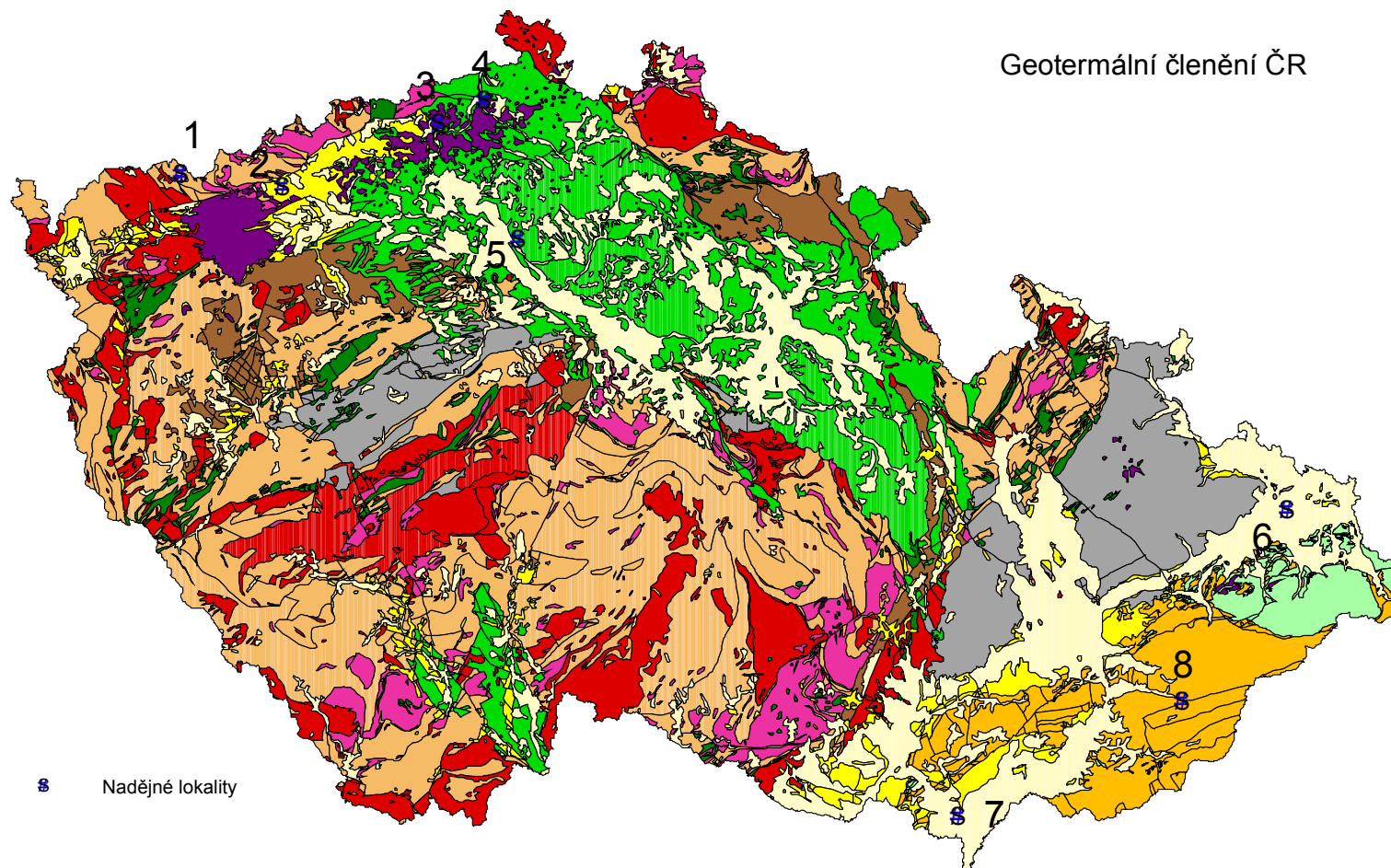
Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
ČSÚ -	4	2 (Celá ČR)	Údaje ze sčítání lidu, bytů a domů 1991 je možno

Zdroj dat	Přesnost dat	Úplnost dat	Poznámka
údaje ze sčítání lidu, bytů a domů			využít pouze jako doplňující zdroj dat zejména vzhledem k tomu, že se jedná o data dosti zastaralá. Navíc jsou k dispozici pouze počty instalací zařízení pro využití sluneční energie bez dalších zpřesňujících parametrů. Po zpracování a publikaci výsledků sčítání lidu 2001 bude přesnost těchto dat
ČEA	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat z ČEA poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci Programů státní podpory úspor energie a obnovitelných zdrojů.
SFŽP	1 - 2	4 (pouze podpořené projekty)	Pro účely energetických generelů je možno získat ze SFŽP poměrně podrobné údaje (výkony, výroba energie), ovšem pouze za instalace podpořené v rámci programů státní podpory.
Dodavatel ské firmy	1 - 2	3 - 4	Pouze v případě, že klíčové dodavatelské firmy jsou ochotny poskytnout údaje o jimi instalovaných zařízeních v dané lokalitě (např. formou referenčních listů).
Svaz chladicí a klimatizač ní techniky	1 - 2	3 - 4	Pouze v případě, že klíčové dodavatelské firmy jsou ochotny poskytnout údaje o jimi instalovaných zařízeních v dané lokalitě (např. formou referenčních listů).
Asociace pro využití tepelných čerpadel	1 - 2	3 - 4	Pouze v případě, že klíčové dodavatelské firmy jsou ochotny poskytnout údaje o jimi instalovaných zařízeních v dané lokalitě (např. formou referenčních listů).

tabulka 45: Zdroje dat pro odhad současného využití geotermální energie a energie prostředí (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).

8.3.2. Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu

Podklady pro stanovení využitelného potenciálu geotermální energie ve formě mapových vrstev GIS, pokrývajících celou ČR je pro regionální energetické dokumenty, které jsou finančně podporovány SFŽP získat od této instituce. Lze však předpokládat, že na vyžádání budou tyto podklady poskytnuty i zpracovatelům ÚEK, jejichž financování je zabezpečeno jiným způsobem (vlastní zdroje, ČEA). Další možností je zpracování podrobné analýzy možností využití geotermální energie včetně zpracování mapových podkladů v prostředí GIS. Takovéto analýzy je schopna na komerčním základě kvalitně zpracovat např. firma Geomedia, s.r.o.



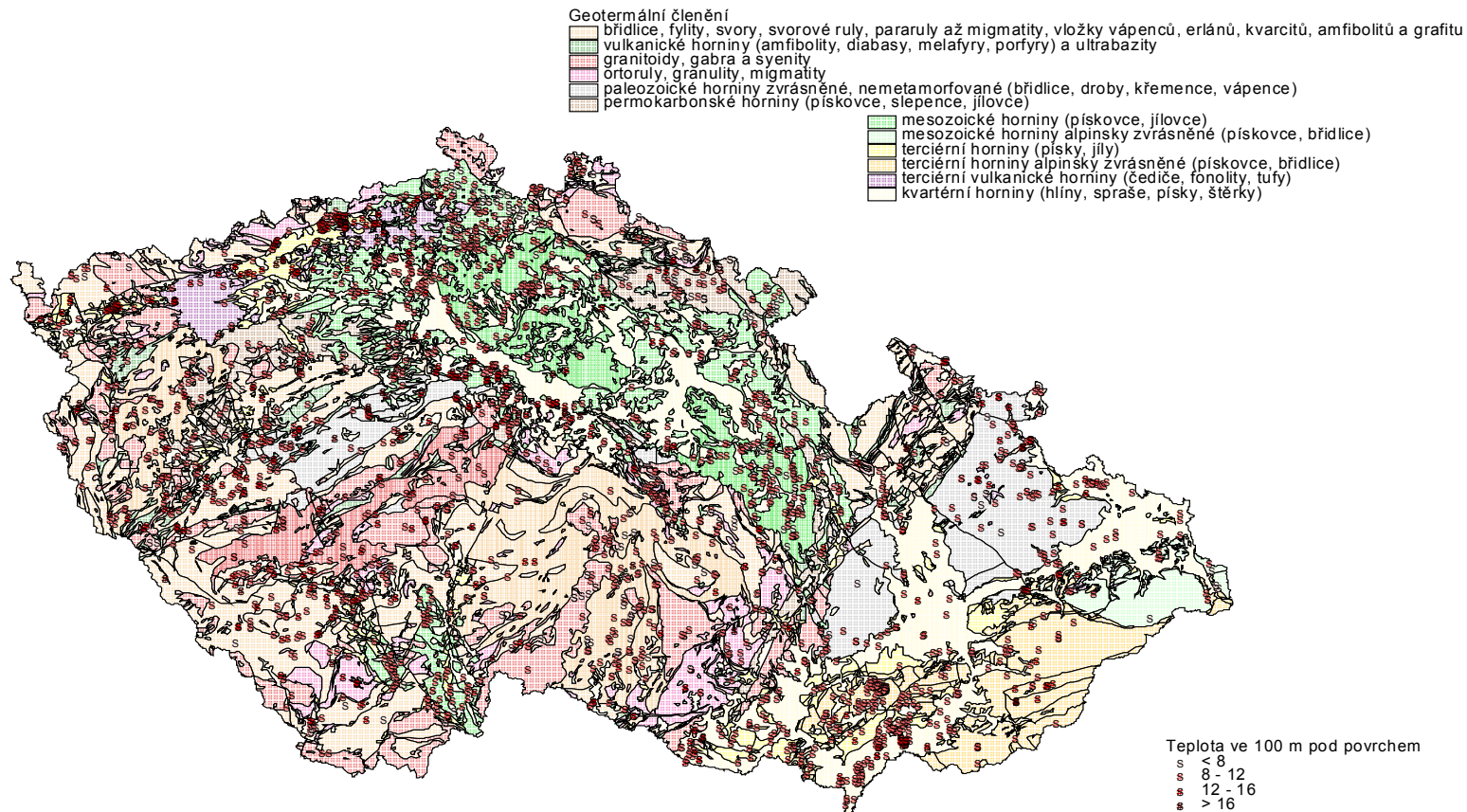
obrázek 37: Geotermální členění ČR. [47]

Geotermální členění

	břidlice, fylity, svory, svorové ruly, pararuly až migmatity, vložky vápenců, erlánů, kvarcitů, amfibolitů a grafitu horniny málo tepelně vodivé až izolátory, oblasti s průměrným tepelným tokem
	vulkanické horniny (amfibolity, diabasy, melafyry, porfyry) a ultrabazity převážně izolátory, jen místně s vyšším tepelným tokem
	granitoidy, gabra a syenity horniny dobře tepelně vodivé, s vyšší radioaktivitou, s vyšší tepelnou produkcí, masivy s vyšším tepelným tokem
	ortoruly, granulity, migmatity dobře tepelně vodivé, puklinově zvodnělé
	paleozoické horniny zvrásněné, nemetamorfované (břidlice, droby, křemence, vápence) převážně málo tepelně vodivé, málo zvodnělé, nízká tepelná produkce
	permokarbonské horniny (pískovce, slepence, jílovce) tepelně vodivé, středně průlinové i puklinově zvodnělé
	mesozoické horniny (pískovce, jílovce) střídání tepelných kolektorů a izolátorů, voda jako přenašeč a akumulátor tepla
	mesozoické horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice) střídání tepelných kolektorů a izolátorů, méně zvodnělé tepelné kolektory
	terciární horniny (písky, jíly) střídání tepelných kolektorů a izolátorů, uhelné sloje s vyšší tepelnou produkcí
	terciární horniny alpinsky zvrásněné (pískovce, břidlice) střídání tepelných kolektorů a izolátorů, jako celek málo tepelně produktivní
	terciární vulkanické horniny (čediče, fonolity, tufy) nízká tepelná vodivost až izolátory, oblasti s vyšším tepelným tokem
	kvarterní horniny (hlíny, spraše, písky, štěrky) tepelně vodivé, hlavním přenašečem tepla je podzemní voda, výborné tepelné kolektory

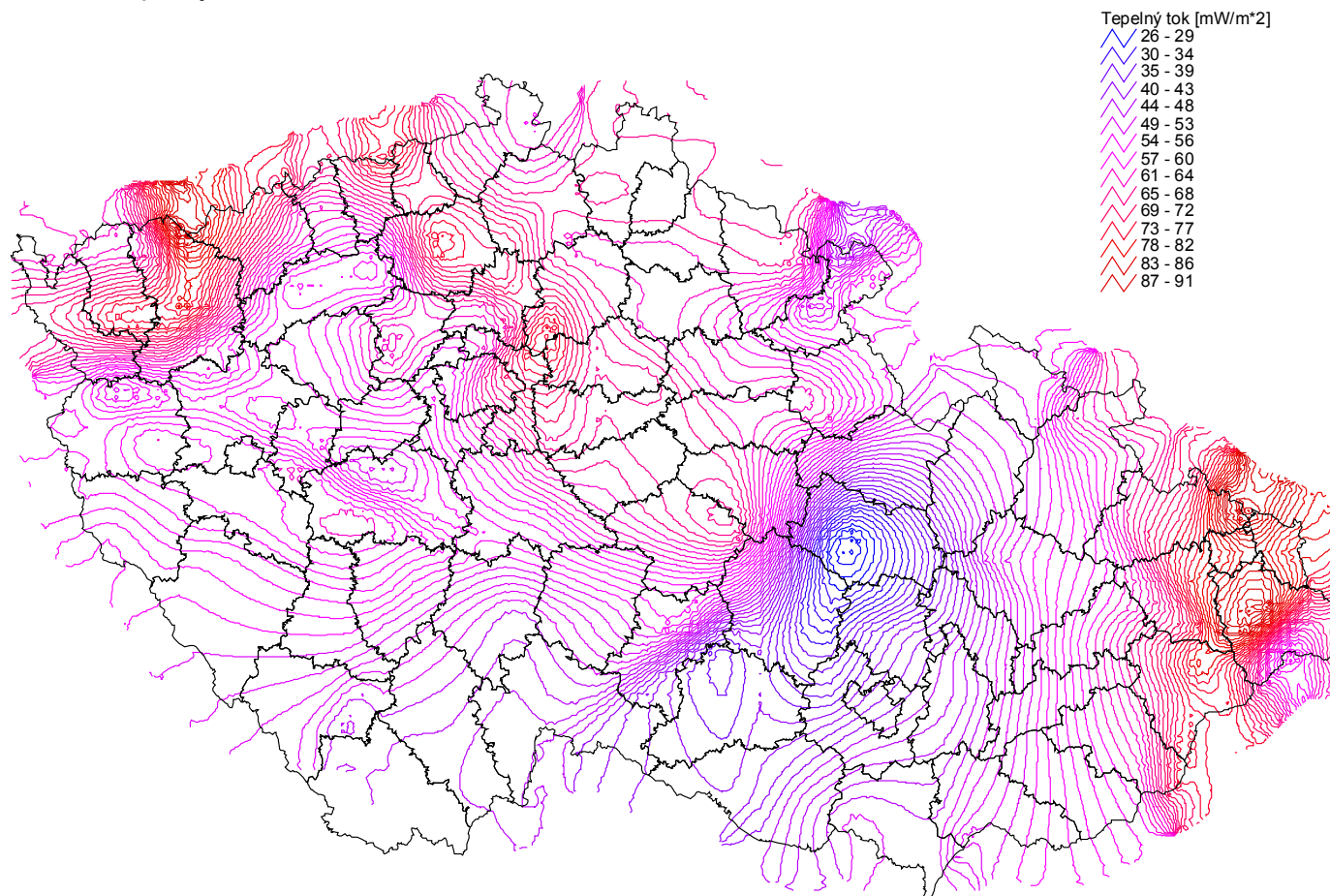
obrázek 38: Legenda viz obrázek 37.

Rozložení teplot ve vrtech 100 m pod povrchem



obrázek 39: Teplota vody ve vrtech v hloubce 100 m. [47]

Tepelný tok na území ČR



obrázek 40: Izolinie tepelného toku na území ČR. [47]

8.4. Metodické postupy pro účely ÚEK

8.4.1. Kritéria výběru a vhodnosti lokalit

1. Přehled zdrojů nízkopotenciálního případně odpadního tepla v lokalitě a přehled spotřebičů tepla o vyšší teplotě:
 - druh teponosného média
 - harmonogram průtoku
 - teplota média
 - trasa pohybu média, objem a poloha nádrží,...
2. Přehled volných prostorů pro umístění TČ a možné trasy propojení
3. Stávající zdroje tepla
 - účinnosti
 - výhřevnosti paliv
 - cena paliv

8.4.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě

Většina nízkoteplotních zdrojů geotermální energie, které se zde nacházejí v ČR, může být využívána pouze tepelnými čerpadly. Primárními zdroji tepla pro využití geotermální energie jsou:

- „suché“ zemské teplo hornin (zemní „suché“ vrty)
- podzemní voda (vrty, studnice, zavodněné šachty starých důlních děl)
- půdní vrstva (zemní kolektory)

Mezi nejvýznamnější firmy pracující s dovozními tepelnými čerpadly patří například Veskom spol. s.r.o. (švédská tepelná čerpadla IVT), Geoterm s.r.o. (rakouská tepelná čerpadla Öchsner). Tradičním českým výrobcem velmi kvalitních tepelných čerpadel je PZP Opočno s.r.o. a Secespol – CZ spol. s.r.o.

Tepelná čerpadla mohou využívat jako primární zdroj tepla také povrchové vody (vodoteče, jezera, rybníky a jiné akumulace vod), vzduch z okolí, nebo ze sklepních, či důlních prostor, z tunelů, podzemních kolektorů ap.

Tepelná čerpadla s typem rotačního kompresoru Scroll dokáží pracovat s přijatelným topným faktorem i při velmi nízkých teplotách. Tepelná čerpadla řady TCLM fy. PZP Opočno mají topný faktor při 0°C: 2,6, při -15°C: 2,11 a při -20°C ještě kolem 2.

8.4.3. Metodika výpočtu potenciálu

Pro výpočet geotermálního potenciálu lze uvažovat s primárním zdrojem tepla **tvořeného vrty příp. půdními kolektory**.

*Pozn.: Kromě výše uvedených tepelných toků je možné na celé řadě lokalit využívat **podpovrchové vody** (z vrtů) pro odběr tepla tepelnými čerpadly, pro jejich využití je však nutné v praxi splnit celou řadu dalších podmínek, jako je časová stabilita průtoku pro stálý odběr vody, vhodné chemické složení (voda nesmí zanášet tepelné výměníky), vhodná vsakovací studna, zamezení ovlivnění ostatních vodních zdrojů, apod. Využití podpovrchové vody (z vrtů) ve větším měřítku a zejména v zástavbě je vždy problematické, málo pravděpodobné a její započítání do celkového potenciálu do značné míry zavádějící. I tak vychází poměrně velký*

potenciál geotermální energie, který může být v praxi ještě větší využitím podpovrchové vody (z vrtů). Při výpočtu potenciálu rozsáhlejšího regionu je většinou obtížné tuto možnost zohlednit, a proto se tyto zdroje započítávají až v případě konkrétních lokalit, kdy lze zpracovat bližší údaje.

Pro výpočty je dobré vycházet ze známých průměrných tepelných toků dosažených ve vrtech podle jednotlivých oblastí, které lze zajistit příslušnou odbornou firmou. Do tepelných toků se obvykle zahrnuje i přirážka na solární ohřev svrchní části (50%) [13].

Obvykle se uvažuje s vrty o hloubce 100 m, jejichž osy jsou od sebe vzdáleny min. 10 m, aby nedocházelo k prochlazování, které by ovlivňovalo jejich tepelný potenciál.

Předpokládá se, že vrty lze umístit na 10% plochy sídla, a že vrty je možné umístit i šikmým vrtáním pod zastavěnou plochu. Pro jeden vrt malého průměru (156 mm) do kterého jsou zapuštěny dvě smyčky s chladivem lze pro hloubku 100 m odhadnout hodnotu 6 - 8 kW, což při uplatnění tepelného čerpadla je dostatečné pro topný výkon 8 - 10 kW. Protože městská zástavba je převážně složena z menších domků, je možné v některých případech uvažovat se dvěma vrty pro jeden menší objekt.

Aby výpočty nevykazovaly zejména u obcí s velkou rozlohou a malým počtem budov neúměrně velký potenciál na využití geotermální energie, je potřeba uvažovat redukci vypočítaného potenciálu na základě zjištěných počtů a parametrů budov (potřebný tepelný příkon). Takto je možné zredukovat teoreticky dosažitelný potenciál na technicky využitelný potenciál pro vytápění budov.

Pro zjištění využitelného potenciálu je potřeba vzít v úvahu i kapacitu elektrické sítě a skutečnost, že je velmi nepravděpodobné, aby v sídlech značně převažovalo vytápění tepelnými čerpadly.

Při odhadech pro ÚEK je možné pro stanovení využitelného potenciálu vycházet ze současných kapacitních možností elektrorozvodné sítě za předpokladu, že tepelná čerpadla nahradí současné systémy přímotopného vytápění při kapacitním navýšení stávající sítě o např. 25% při průměrném ročním topném faktoru 2,5, jak je uvedeno v příkladu v kapitole 9.

Volba koeficientů závisí samozřejmě na konkrétní situaci v lokalitě, je potřeba odpočítat např. sídla ležící v 1. a v 2. ochranném pásmu lázní a minerálních vod.

9. Případové studie

9.1. Energetický územní koncept hlavního města Prahy [10]

9.1.1. Využití energie Slunce

Podmínky v pražské lokalitě:

Na základě dlouhodobého měření vychází průměrné počty hodin solárního svitu následovně:

	Měsíc [hod/měsíc]												
Praha:	Led	Úno	Bře	Dub	Kvě	Čer	Čv	Srp	Zář	Říj	Lis	Pro	Rok
Ruzyně	43	62	128	149	208	210	204	214	150	103	55	47	1 573
Klementinum	38	62	128	149	210	206	204	217	152	104	53	45	1 568
Kbely	35	58	124	152	200	219	206	221	150	91	51	39	1 546

tabulka 46: Průměrné měsíční a roční sumy solárního svitu v Praze [76].

Průměrné hodnoty globálního záření se pohybují od 3 700 do 3 800 MJ/m², tj. 1 028 – 1 056 kWh/m². Solární kolektor doveze z této energie využít v ideálním případě kolem 50% tj 500 – 550 kWh/m². V praxi se dosahuje hodnot o něco nižších kolem 400 kWh/m². Praha má pro využití solární energie běžné podmínky (tj. počty hodin solárního svitu a dosaženého globálního záření).

Oproti jiným obdobným lokalitám zde přibývá problém se znečištěním atmosféry, mající negativní vliv na množství vyrobené energie. Podobně problematický je prašný spad snižující účinnost a životnost solárních kolektorů.

9.1.1.1. Odhad vycházející z počtu budov v Praze

Odhad vychází z počtu budov na něž lze umístit určitý počet kolektorů. Počet kolektorů vychází z možnosti využití, typu budovy a počtu pater. Velké budovy jsou téměř výhradně zásobované centrálně nebo mají vlastní kotelnu. Využití solární energie je zde málo pravděpodobné jak technicky, tak majetkoprávně.

Na zahrnutí vlivu orientace budovy a možného využití byl zvolen koeficient „Redukce na polohu a využití“.

Budova	Počet	Počet kol. teor./budovu	Teoretická výroba	Redukce na polohu a využití	Možná výroba
		[ks]	[MWh/rok]	[%]	[MWh/rok]
Rodinné domky	47 018 ks	4	115 852	40%	46 341
Bytové domy 1-3 podl.	6 982 ks	12	51 611	40%	20 644
Bytové domy 4-6 podl.	15 718 ks	18	174 281	30%	52 284
Bytové domy 7+ podl.	7 179 ks	0	0	0%	0
Ostatní budovy 1-3 podl.	1 258 ks	2	1 550	30%	465
Ostatní budovy 4-6 podl.	413 ks	0	0	0%	0
Ostatní budovy 7+ podl.	82 ks	0	0	0%	0
CELKEM			343 294		119 735

tabulka 47: Potenciál využití solární energie vycházející z počtů a druhů budov.

Tabulka počítá i teoretickou výrobu tepla, která dobře ukazuje jak je výše popsán odhad shora omezen. Touto metodikou vychází využitelný potenciál 119 735 MWh/rok.

9.1.1.2. Odhad vycházející ze znalosti druhu vytápění

Odhad vychází ze znalosti druhu vytápění bytů a z předešlého závěru, že se solární systémy nebudou masově využívat v budovách zásobovaných CZT. Dále se uvažuje s racionálním přístupem budoucích uživatelů solárních systémů. Ty se budou poměrně těžko prosazovat v plynofikovaných objektech, kde se TUV připravuje obvykle přímým ohřevem buď kombinovaným plynovým kotlem nebo karmou.

Naopak objekty již vybavené zásobníkem na TUV budou mít možnost využití solárního tepla podstatně snazší. Uživatel s elektrickým zásobníkem TUV nebo s kotlem na tuhá paliva a kombinovaným zásobníkem TUV budou využívat solární systémy zřejmě častěji.

I v tomto odhadu je nutné počítat s redukčním koeficientem zahrnujícím vliv reálného využití.

Vytápěné byty	počet	Počet kol na byt	Teoretická výroba	Redukční koef.	Možná výroba
	[ks]	[ks]	[MWh/rok]	[%]	[MWh/rok]
z toho lokál tuhá paliva	61 815	3	114 234	48%	54 832
lokál zemní plyn	142 903	2	176 056	30%	52 817
lokál elektřina	17 149	3	31 691	55%	17 430
lokál ostatní nebo komb.	5 054	2	6 227	40%	2 491
CELKEM			328 208		127 570

tabulka 48: Potenciál využití solární energie vycházející z druhu vytápění.

Tabulka počítá i teoretickou výrobu tepla, která dobře ukazuje jak je výše popsán odhad shora omezen. Odhad možné výroby tepla touto metodikou vychází na 127 570 MWh/rok, což se minimálně liší od předchozího odhadu.

Vzhledem ke stávajícím technicko-ekonomickým podmínkám v komunální energetice (nízké ceny energií, vysoké pořizovací náklady na solární systémy a absence snadno dostatečné a snadno dosažitelné státní podpory) bude reálnější v závěrečných bilancích počítat s hodnotou 119 735 MWh/rok tj. 431 045 GJ/rok.

9.2. Energetický dokument obce Boží Dar

9.2.1. Využití solární energie

Průměrné měsíční trvání slunečního svitu - Fichtelberg		
Měsíc	$\tau_{\text{skut}} \text{ (h)}$	$\tau_{\text{skut}} / \tau_{\text{teor}}$
I	55	0,21
II	67	0,24
III	109	0,30
IV	128	0,31
V	181	0,38
VI	192	0,39
VII	197	0,40
VIII	183	0,41
IX	136	0,36
X	92	0,28
XI	50	0,19
XII	53	0,21
Rok	1443	0,31

tabulka 49: Hodnoty slunečního svitu v průběhu roku.

Měsíc	Qs (kWh.m ⁻²)
I	37,72
II	54,55
III	85,70
IV	104,38
V	128,33
VI	123,28
VII	128,03
VIII	124,60
IX	102,61
X	89,50
XI	38,49
XII	25,09

tabulka 50: Průměrné měsíční toky globálního slunečního záření za rok.

Boží Dar patří mezi lokality s menším počtem slunečního svitu kolem 1 443 hod/rok viz tabulka 49. I přes nižší počet hodin slunečního svitu je využití solární energie zajímavé zejména pro ohřev TUV a vytápění (ve spojení s nízkoteplotní otopnou soustavou). Efekt slunečního záření je v podmínkách Božího Daru výrazně zesílen vyšší nadmořskou výškou a zvýšeným podílem difúzního záření (mimo jiné odrazem od sněhové pokrývky).

Na základě dosavadních zkušeností jsou solární systémy s plochými kapalinovými kolektory nainstalované v obci schopné v zimě dosahovat nezvykle vysokých okamžitých hodnot tepelného výkonu.

Odhad potenciálu

Zastavěná plocha v obci je 19 181 m². Průměrný tok globálního slunečního záření je 1 042,3 kWh/m²rok (tabulka 50). Teoretický energetický potenciál vycházející ze zastavěné plochy je 19 992 MWh/rok. Pro případ Božího Daru uvažujeme využití plochých kapalinových kolektorů (Heliostar).

Využitelný potenciál lze odhadnout podle charakteru zástavby. Dobrý solární kolektor dokáže z 1 m² vyrobit kolem 500 kWh/m².rok (při celkové ploše 1,74 m² kol. Heliostar). Podle našeho odhadu je přibližně 70 budov v obci orientovaných příznivě pro snadnou instalaci solárního systému, nejčastěji jihozápadním a jižním směrem. V případě, že na každé z těchto budov bude nainstalováno průměrně 8 solárních kolektorů bude využitelný potenciál solární energie 487 200 kWh/rok.

Počet kolektorů instalovaných na budově může být různý, vychází z možností spotřeby dodané energie ze solárního systému a záměru majitele (provozovatele) objektu. V rodinných domcích se obvykle využívají 2-4 kolektory, v budovách pro ubytování to je obvykle víc - ale velmi záleží na používaném systému ohřevu TUV, na ceně energie a na záměrech majitele.

Skutečný využitelný potenciál může být i výrazně vyšší nastanou-li celospolečensky příznivé podmínky pro využívání solární energie (podobně jako v sousedním SRN).

9.2.2. Využití větrné energie

Větrné energii je potřeba věnovat zvýšenou pozornost, neboť v blízkém okolí obce se nacházejí jedny z nejlepších lokalit pro její využití.

9.2.2.1. Klimatické podmínky

Oblast Božího Daru je vhodně umístěna z hlediska možností využití energie větru. Hřebeny Krušných hor tvoří přirozenou překážku převládajícímu západnímu proudění a v okolí Božího Daru dosahují nejvyšších nadmořských výšek.

Roční průměrná rychlost větru na vrcholech Fichtelbergu (1215 m.n.m.) a Klínovce (1244 m.n.m.) dosahuje podle dlouhodobých měření hodnot blízkých hodnotám proudění v odpovídající výšce ve volné atmosféře, tedy 8 až 9 m/s. Takto vysoká průměrná rychlost větru představuje ve středoevropských podmínkách velice dobrou lokalitu. Vrcholové partie Fichtelbergu a Klínovce však nejsou vhodné pro výstavbu větrné farmy, neboť jsou částečně zalesněny a jsou využívány k jiným účelům (meteorologická observatoř, vysílač, rekreační objekty, konečná stanice lanovky a vleků apod.). Vhodnou lokalitu tvoří sedlo mezi Fichtelbergem a Klínovcem, oblast Neklidu a otevřená krajina nad Božím Darem, podél státní hranice s SRN. Tato oblast je o 200 až 250 m níže než vrcholy Fichtelbergu, respektive Klínovce, a proto i průměrná rychlost větru na těchto lokalitách bude nižší. Výpočtem průměrné rychlosti větru v místě potenciální větrné farmy se zabývala studie EkoWATTu. Tento výpočet byl založen na numerickém modelu proudění v dané oblasti a předpokládal průměrnou rychlost větru 8 m/s v referenčním bodě na vrcholu Fichtelbergu. Podle těchto výpočtů by měla být průměrná rychlost větru v místě předpokládané větrné farmy 6 až 7,3 m/s ve výšce 30 m nad zemí. 6 m/s odpovídá lokalitě nad obcí, podél státní hranice, dále se rychlost zvyšuje až na 7,3 m/s pod vrcholem Klínovce ("na výsluní").

Pro potřeby studie na využití 75 kW větrné elektrárny u Božího Daru byl Ústav fyziky atmosféry AVČR požádán o vypracování odborného posudku k předpokládané průměrné rychlosti větru v lokalitě stávající větrné elektrárny. Tento posudek se opírá o výpis z tzv. větrného atlasu České republiky, s rozlišovací schopností 2 x 2 km (vytvořen na základě interpolací dlouhodobých měření na meteorologických stanicích), a na základě dílčích měření přímo na dané lokalitě. Podle tohoto posudku je průměrná rychlost větru v místě stávající elektrárny 6,5 m/s ve výšce 10 m. Této rychlosti by odpovídala průměrná rychlost větru okolo 7,5 m/s ve výšce 30 m, tedy podstatně vyšší, než kolik odpovídá předpovědi podle (6 m/s ve výšce 30 m). Vzhledem k tomu, že i v modelu ÚFA je řada zjednodušujících předpokladů, lze patrně považovat tento údaj za **horní** odhad průměrné rychlosti větru, zatímco výsledek studie EkoWATTu lze považovat za **spodní** odhad průměrné rychlosti větru v této lokalitě.

Na základě výše uvedených skutečností byly použity následující předpoklady pro výpočet potenciálu využití větrné energie v oblasti Božího Daru:

Lokalitu vhodnou pro výstavbu větrné farmy lze z hlediska průměrné rychlosti větru rozdělit do 3 částí:

- oblast nad Božím Darem, podél státní hranice až k prostoru celnice
- oblast nad celnicí a na Neklidu
- nejvyšší část Neklidu a oblast "Na výsluní"

Předpokládá se, že v každé části bude umístěna přibližně 1/3 z celkového počtu elektráren.

Průměrná rychlost větru se zvyšuje s výškou podle exponenciálního vztahu $v/v_0 = (h/h_0)^a$, kde exponent $a = 0,1$ (Pozn.: pro rovinné oblasti s otevřenou krajinou se obvykle uvažuje $a = 0,14$). V místech, kde je výrazný vliv orografických podmínek, t.j. například v sedlech nebo na vrcholcích hor, vede tento exponent obvykle k přecenění přírůstku rychlosti s výškou nad zemí. Proto byl použit mírně konzervativní odhad exponentu $a = 0,1$)

Výpočet potenciálu byl proveden pro dvě varianty:

- s osou rotorů elektráren ve výšce 30 m
- s osou rotorů elektráren ve výšce 50 m

Průměrné rychlosti větru byly v jednotlivých oblastech stanoveny takto:

- Ve výšce 30 m nad zemí **7,0 m/s, 7,3 m/s a 7,5 m/s**,
- ve výšce 50 m nad zemí **7,4 m/s, 7,7 m/s a 7,9 m/s**.

Pro rozdělení četnosti rychlosti větru v uvažované lokalitě bylo použito Weibullova rozdělení s parametry $c=1,14$ a $k=1,93$ (podle dlouhodobých měření na Fichtelbergu).

9.2.2.2. Výpočet potenciálu využití energie větru

Pro výpočet potenciálu využití energie větru na Božím Daru byly vypracovány dvě varianty "ideového návrhu" větrné farmy. První varianta počítá s využitím větrných elektráren o jmenovitém výkonu 300 kW, druhá s využitím elektráren o jmenovitém výkonu 600 kW.

Obě varianty počítají s maximálním využitím daného území, t.j. s rozmístěním elektráren s minimálním přijatelným rozestupem, který byl stanoven na pětinasobek průměru rotoru. Při menších rozestupech dochází již ke značným ztrátám, neboť některé elektrárny se nacházejí v úplavu za jinými elektrárnami, t.j. v místech se sníženou rychlostí větru a zvýšenou turbulencí. Také z vizuálního hlediska je nepříjemné větrnou farmu příliš "zahušťovat".

Rozmístění elektráren bylo navrženo tak, aby nejbližší elektrárny nebyly blíže než 400 m od nejbližšího obydlí. Pouze tak je možno zaručit, že při použití kvalitních elektráren budou dodrženy hygienické požadavky na přípustné limity hluchnosti. Vzhledem k tomu, že na Božím Daru se jedná o rekreační oblast se zvýšenými požadavky na kvalitu prostředí, budou tyto požadavky značně přísné. Hlučnost elektráren by neměla převyšovat 45 dB(A) v denní a 40 dB(A) v noční době. Ke splnění tohoto kritéria je třeba, aby zdrojová hlučnost elektráren nebyla vyšší než 100 dB(A).

Varianta A předpokládá rozmístění celkem 34 elektráren o jmenovitém výkonu 300 kW (výška věže 30 m, průměr rotoru 31 m). Rozmístění některých elektráren odpovídá projektu z roku 1992, ke kterému bylo doplněno celkem 14 elektráren, především v oblasti Neklidu. Pro modelový výpočet bylo použito výkonové křivky elektrárny Bonus 300 kW Combi, modifikované pro nadmořskou výšku 1100 m n.m. (hustota vzduchu 1,07 kg/m³).

Průměrná rychlost větru			7,0 m/s	7,3 m/s	7,5 m/s
Rychlost větru	Výkon		Vyrobená energie	Vyrobená energie	Vyrobená energie
[m/s]	[kW]	hustota 1,07 kg/m ³	[MWh]	[MWh]	[MWh]
4,5	9				
5,0	19		456	9	434
5,5	29		459	13	440
6,0	40		455	18	439
6,5	52		446	23	433
7,0	66		431	29	422
7,5	80		411	33	406
8,0	96		388	37	387
8,5	112		363	40	365
9,0	129		335	43	341
9,5	144		307	44	316
10,0	161		279	45	290
10,5	175		250	44	263
11,0	191		223	43	237
11,5	203		197	40	212
12,0	216		172	37	188
12,5	228		149	34	166
13,0	242		129	31	145
13,5	249		110	27	125
14,0	256		93	24	108
14,5	259		78	20	92
15,0	262		65	17	78
15,5	264		54	14	66
16,0	265		44	12	55
16,5	267		36	10	45
17,0	269		29	8	37
17,5	268		23	6	31
18,0	268		19	5	25
18,5	265		15	4	20
19,0	263		12	3	16
19,5	259		9	2	13
20,0	254		7	2	10
20,5	248		5	1	8
21,0	241		4	1	6
21,5	235		3	1	5
22,0	228		2	1	4
22,5	224		2	0	3
23,0	219		1	0	2
23,5	217		1	0	2
24,0	215		1	0	1
24,5	215		1	0	1
25,0	215		0	0	1
25,5	215				
Celkem za rok:				723	779
Počet elektráren:				11	12
Potenciál:				26	GWh

tabulka 51: Potenciál energie větru varianta A (34 elektráren o výkonu 300 kW).

Varianta B předpokládá rozmístění celkem 19 elektráren o jmenovitém výkonu 600 kW (výška věže 50 m, průměr rotoru 41 m). Pro modelový výpočet bylo použito výkonové křivky elektrárny Bonus 600 kW modifikované pro nadmořskou výšku 1100 m n.m.

Průměrná rychlost větru			7,4	m/s	7,7	m/s	7,9	m/s
Rychlost	Výkon			Vyrobená		Vyrobená		Vyrobená
větru	hustota 1,07 kg/m3		Doba	energie	Doba	energie	Doba	energie
[m/s]	[kW]		[hod]	[MWh]	[hod]	[MWh]	[hod]	[MWh]
4,5	9							
5,0	20		427	9	406	8	393	8
5,5	37		433	16	415	15	402	15
6,0	57		434	25	418	24	407	23
6,5	75		429	32	415	31	406	30
7,0	96		419	40	408	39	401	38
7,5	127		404	51	397	50	392	50
8,0	162		386	63	382	62	379	61
8,5	193		365	70	365	70	363	70
9,0	227		342	78	345	78	345	79
9,5	260		318	83	323	84	325	85
10,0	297		293	87	300	89	304	90
10,5	329		267	88	277	91	282	93
11,0	365		242	88	253	92	260	95
11,5	393		217	85	230	90	237	93
12,0	424		193	82	207	88	215	91
12,5	445		171	76	185	82	194	86
13,0	467		150	70	164	77	173	81
13,5	482		130	63	145	70	154	74
14,0	498		113	56	127	63	136	68
14,5	508		97	49	110	56	119	61
15,0	519		82	43	95	50	104	54
15,5	524		70	37	82	43	90	47
16,0	530		59	31	70	37	77	41
16,5	530		49	26	59	31	66	35
17,0	530		40	21	50	26	56	30
17,5	526		33	18	42	22	48	25
18,0	523		27	14	35	18	40	21
18,5	518		22	11	29	15	33	17
19,0	513		18	9	23	12	28	14
19,5	507		14	7	19	10	23	12
20,0	500		11	6	16	8	19	9
20,5	492		9	4	13	6	15	8
21,0	484		7	3	10	5	12	6
21,5	474		6	3	8	4	10	5
22,0	464		4	2	6	3	8	4
22,5	452		3	1	5	2	6	3
23,0	439		3	1	4	2	5	2
23,5	429		2	1	3	1	4	2
24,0	419		1	1	2	1	3	1
24,5	409		1	0	2	1	2	1
25,0	399		1	0	1	1	2	1
25,5	399							
Celkem za rok				1451		1559		1628
Počet elektráren				6		7		6
Potenciál				29	GWh			

tabulka 52: Potenciál energie větru varianta B (19 elektráren o výkonu 600 kW).

9.2.2.3. Shrnutí

Z výše uvedených výsledků je patrné, že potenciál dané lokality není příliš ovlivněn volbou konkrétního typu elektráren. Při použití vyšších jmenovitých výkonů je využitelný potenciál o něco vyšší vzhledem k použití vyšších věží (avšak pouze za předpokladu správnosti uvažovaného nárůstu rychlosti větru s výškou, který je třeba ověřit v konkrétních podmínkách měření).

Vypočtený teoretický potenciál je třeba ještě snížit o 5-10% pro započtení ztrát způsobených údržbou a poruchami, námrazou apod. Skutečný potenciál dané lokality se bude tedy pohybovat kolem **25 GWh** ročně, s maximálním okamžitým výkonem kolem 12 MW.

9.3. Energetický koncept regionu Karlovarsko

9.3.1. Využití energie vody

9.3.1.1. Vhodnost přírodních podmínek pro využití v lokalitě

V regionu se nachází z pohledu využití vodní energie několik zajímavých vodních toků: Ohře, Střelá, Bystřice, Rolava a další menší toky. Celá řada lokalit na uvedených tocích je již malými vodními elektrárnami využívána. Podmínky lze obecně vyhodnotit jako dobré.

Pro výstavbu MVE se téměř vždy využívají lokality, které byly v minulosti využívány pro energetické účely, například vodním mlýnem, hamrem či pilou. Zbytky bývalého vodního díla (odtokový kanál, jez apod.) mohou výrazně snížit náklady na výstavbu. Při tom je nezbytné zejména na větším toku, aby bylo v pořádku vzdouvací zařízení (jez).

9.3.1.2. Vhodné technologie využitelné v lokalitě

Pro výstavbu MVE na uvedených tocích budou využívány zejména nízkospádové turbíny s vyšší hlností (obvykle kaplanovy turbíny). V ČR je celá řada kvalitních dodavatelských firem, které jsou schopné na klíč zabezpečit nejen dodávku vhodné turbíny, ale i ostatních částí, nebo dodávku „na klíč“ celé MVE. Mezi nejznámější patří např. Hydrohrom s.r.o. (kaplanovy turbíny, MVE na klíč), Cink – vodní elektrárny a.s. (bankiho turbíny, MVE na klíč), Mavel s.r.o. (všechny typy turbín, MVE na klíč), Sanborn a.s. (MVE na klíč a repase starých) a další.

a) zmapování stávajících vodních děl:

Na základě údajů ZČE a.s., která eviduje funkční MVE v okrese K.Vary, dodávající elektrickou energii do sítě na tocích ve správě Povodí Ohře byla sestavena následující tabulka:

Tok	Ríční km (km)	Výkon (kW)	Lokalita	Katastrální území
Bystřice		11,0	Ostrov	Ostrov nad Ohří
Bystřice		35,0	Merklín	Pstruží u Merklína
Bystřice	16,760 - 16,480	60,0	Merklín	Merklín u Karlových var
Bystřice	17,300 - 17,800	185,0	Merklín	Merklín u Karlových var
Bystřice		400,0	Merklín	Pstruží u Merklína
Bystřice	18,300 - 18,100	88,0	Merklín	Pstruží u Merklína
Bystřice	18,900 - 18,400	28,8	Merklín	Pstruží u Merklína
Bystřice		250,0	Merklín	Pstruží u Merklína
Bystřice		160,0	Merklín	Pstruží u Merklína
Černá	0,950 - 0,450	33,0	Potůčky	Potůčky
Černá	3,400 - 2,650	220,0	Potůčky	Potůčky
Eliášův potok	5,000 - 4,760	29,0	Jáchymov	Jáchymov
Chodovský potok	3,500 - 3,350	40,0	Jenišov	Jenišov
Rolava	4,550 - 4,500	30,0	Karlovy Vary	Stará role
Rolava	12,700 - 12,050	84,0	Smolné Pece	Smolné pece

Tok	Říční km (km)	Výkon (kW)	Lokalita	Katastrální území
Rolava	13,400 - 12,800	120,0	Nejdek	Fojtov
Rolava	14,200 - 13,500	110,0	Nejdek	Suchá u Nejdku
Rolava	20,200 - 20,100	35,0	Nejdek	Nejdek
Teplá	8,210	430,0	Březová	Březová
Dolský potok		44,0	Bečov n. T.	Bečov nad Teplou
Lomnický potok	3,200	25,0	Stanovice	Stanovice
Celkem		2 417,8		

tabulka 53: MVE provozované v okrese Karlovy Vary ke dni 29.2.2000.

Výše uvedené elektrárny vyrobily za rok 1999: 6 738 MWh, čemuž odpovídá využití maxima ve výši 2 787 hodin. Obvykle se využití maxima pohybuje výše než uvedená hodnota, u dobře navržené MVE je běžně 4 000 – 4 500 hodin.

b) vytipování zbylých využitelných lokalit:

Lokalita pro využití energie vody jsou v ČR celkem dobře zmapované. Pro odhad ještě využitelného potenciálu byly použity následující dostupné podklady:

- Výzkumná zpráva č. 12 02 1 120 , zpracovaná v rámci státní úlohy "Komplexní rozvoj hydroenergetiky ČSSR", Výzkumným ústavem energetickým v r. 1982.
- Podklady zpracované k ÚP VÚC karlovarské aglomerace, zpracované ČEZ, a.s. v r.1999
- Podklady zpracované pro odhad potenciálu ČR, zpracované EkoWATTem v r. 1998.

Z výše uvedených údajů bylo možné zjistit ještě využitelný potenciál viz. následující tabulka. Předpokladem pro dosažení uvedených hodnot, je obnova nebo nová výstavba jezů v lokalitách, kde v minulosti byly, nebo kde jsou uvažovány.

9.3.1.3. Vytipování vhodných projektů v lokalitě

Použitá metodika umožnila přímo vytipovat možné lokality, které přehledně ukazuje následující tabulka.

Tok	Říční km. (km)	Výkon (kW)	Lokalita	Katastrální území
Ohře	142,4	1 400,0	Boč	Boč
Ohře	143,4	1 400,0	Korunní	Korunní
Ohře	146,2	1 200,0	Stráž	Stráž nad Ohří
Ohře	148,3	900,0	Jakubov	Jakubov
Ohře	151,8	1 300,0	Vojkovice	Vojkovice nad Ohří
Ohře	153,8	400,0	Merklín	Merklín u Karlových Var
Ohře/Bystřice/	153,8	500,0	Pstruží	Pstruží u Merklína
Ohře	154,5	500,0	Velichov	Velichov
Ohře	160,5	1 700,0	Kyselka	Kyselka
Ohře	164,9	1 100,0	Muzikov	Sedlečko u Karlových Var
Ohře	169,3	1 000,0	Hubert	Karlovy vary
Ohře	180,9	600,0	Doubí	Doubí u Karlových Var
Střela		80,0	Žlutice	
Rolava		130,0	Chaloupky	Jelení u Nových Hamrů
Rolava		40,0	Stará Role	Stará role
Rolava		100,0	Rybáře	Rybáře
Ostatní toky		200,0		
Celkem		12 550,0		

tabulka 54: Vhodné lokality pro výstavbu MVE v karlovarském regionu.

9.3.2. Využití geotermální energie

Pro vyhodnocení využití geotermální energie byla zpracovaná zvláštní studie [13]. Veškeré údaje, některé texty a následné výpočty z ní vycházejí.

9.3.2.1. Vhodnost přírodních podmínek pro využití v lokalitě

Na základě porovnání celé oblasti podkrušnohorského riftu, bylo zjištěno, že plocha karlovarského regionu je v lépe prohráté zóně a že na některých strukturních liniích a strukturních blocích jsou anomální teplotní poměry.

Nejteplejším úsekem je oblast mezi Doupovskými vrchy a Karlovými Vary a v centrální části sokolovské pánve v okolí Jehličné.

Z hlediska geotermálního je možné lokalitu rozdělit do několika oblastí vhodnosti využití geotermálního potenciálu zemského tepla:

Oblast	Tepelný tok [mW/m^2]
Krušných hor (krušnohorská žula a metamorfity)	75
metamorfitů Tepelské plošiny	65
krušnohorské žuly Tepelské plošiny	75
permokarbonských sedimentů	55
vulkanitů Doupovských vrchů	70
krušnohorské žuly v podkrušnohorské příkopové propadlině	70
terciérních sedimentů podkrušnohorské pánve, včetně kvartéru.	70

tabulka 55: Oblasti a zjištěné průměrné tepelné toky pod povrchem země v regionu.

Kromě výše uvedených tepelných toků je možné na celé řadě lokalit využívat podpovrchové vody (z vrtů) pro odběr tepla tepelnými čerpadly.

Při výpočtu potenciálu však *nebyla* tato možnost zohledněna. Aby bylo možné výše uvedenou technologii využít, je nutné v praxi splnit celou řadu dalších podmínek: časová stabilita průtoku pro stálý odběr vody, vhodné chemické složení (voda nesmí zanášet tepelné výměníky), vhodná vsakovací studna, zamezení ovlivnění ostatních vodních zdrojů apod.

Využití podpovrchové vody (z vrtů) ve větším měřítku a zejména v zástavbě je vždy problematické, málo pravděpodobné a její započítání do celkového potenciálu do značné míry zavádějící. I tak vychází poměrně velký potenciál geotermální energie, který může být v praxi ještě větší využitím podpovrchové vody (z vrtů).

Pro využití geotermální energie má oblast Karlovarska jednoznačně nejlepší podmínky z celé ČR. Podmínky jsou natolik příznivé, že by bylo možné v některých lokalitách uvažovat o přímém využití zemského tepla hlubinnými vrty.

9.3.2.2. Použitá metodika

Pro výpočet geotermálního potenciálu bylo uvažováno s primárním zdrojem tepla tvořeného vrty příp. půdními kolektory. Ostatní možnosti nejsou započítány viz. komentář v předchozích kapitolách.

Výpočty vycházely ze známých průměrných tepelných toků dosažených ve vrtech podle jednotlivých oblastí (viz. předchozí tabulka). Do tepelných toků byla zahrnuta přírážka na solární ohřev svrchní části (50%).

Je uvažováno se 100 m vrty, které jsou od sebe vzdáleny min. 10 m (osy vrtů). Předpokládá se, že lze umístit vrty na 10% plochy sídla, vrty je možné umístit šikmým vrtním i pod zastavěnou

plochu). Aby výpočty nevykazovaly zejména u obcí s velkou rozlohou a malým počtem budov neúměrně velký potenciál na využití geotermální energie, byla zavedena redukce vypočítaného potenciálu na základě zjištěných počtů a parametrů budov (potřebný tepelný příkon). Výpočet tak zredukoval teoreticky dosažitelný potenciál na technicky využitelný potenciál pro vytápění budov.

Pro zjištění využitelného potenciálu byla brána v úvahu kapacita elektrické sítě a skutečnost, že je velmi nepravděpodobné, aby v sídlech značně převažovalo vytápění tepelnými čerpadly. Využitelný potenciál vychází ze současných kapacitních možností elektrorozvodné sítě za předpokladu, že tepelná čerpadla nahradí současné systémy přímotopného vytápění při kapacitním navýšení stávající sítě o 25% při průměrném ročním topném faktoru 2,5.

Poté byla odpočítána sídla ležící v 1. ochranném pásmu lázní a minerálních vod (absolutní zákaz provádět vrty – např. Karlovy Vary) a v 2. ochranném pásmu lázní a minerálních vod (lze vrtat pouze s písemným povolením Inspektorátu lázní a zřídels (ČIL) při ministerstvu zdravotnictví ČR – např. Kyselka). Sídla ležící v těchto pásmech mají potenciál geotermální energie „nulový“.

9.3.2.3. Vytipování vhodných projektů v lokalitě

Tepelná čerpadla lze efektivně využít prakticky kdekoli s minimálním omezením (např. nelze provádět vrty na důlní výsypce). Je to technologie využitelná plošně. Jediným omezením jsou vysoké pořizovací náklady a případná nedostupnost dostatečně dimenzované elektrické přípojky. Přesto lze na Karlovarsku vytipovat výjimečně zajímavé lokality:

Božičany - v několika metrech pod obcí jsou zavodněné štoly s pravděpodobnou možností odběru tepla pro tepelná čerpadla.

Boží Dar - zavodněná šachtice v blízkosti budov s velmi dobrým a ověřeným potenciálem tepla.

Potůčky - důlní díla a šachtice v obci a blízkém okolí, potenciál se zjišťuje.

Oblast Doupovských hor - možnost přímého využití zemského tepla hlubinnými vrty na výrobu tepelné a elektrické energie.

Celkové zhodnocení potenciálu obnovitelných zdrojů energie v regionu

Na základě dostupných údajů byl stanoven využitelný potenciál obnovitelných zdrojů energie v karlovarském regionu, do něhož spadá celý okres Karlovy Vary a několik dalších obcí. Odhad byl prováděn spíše konzervativním způsobem tak, aby se zjištěné potenciály co nejvíce přiblížily prakticky dosažitelným hodnotám, tj. se započítáním všech omezujících a neznámých podmínek.

Karlovarsko má velmi dobré podmínky pro využití obnovitelných zdrojů energie. Největší potenciál je v energii biomasy a v geotermální energii. Geotermální energie má v této lokalitě dokonce nejlepší podmínky z celé ČR. Následující tabulka shrnuje analyzované potenciály jednotlivých obnovitelných zdrojů energie po subregionech.

Oblast	vodní energie	biomasa	energie větru	energie Slunce	geotermální energie	CELKEM
A	38 880	138 917	122 688	25 073	118 831	444 389
B	37 260	92 475	0	29 699	35 953	195 387
C	0	494 137	0	17 264	124 740	636 141
D	0	81 493	0	504	0	81 998
Celkem	76 140	807 023	122 688	72 540	279 524	1 357 914

tabulka 56: Využitelný potenciál obnovitelných zdrojů energie po subregionech [GJ/rok].

10. Kontakty na zdroje informací

Firma	Ulice	PSČ, město	Telefon
ČHMÚ	Na Šabatce 17	143 06 Praha 4	02/44 03 11 11
ČSÚ	Sokolovská 142	186 04 Praha 8	02/74 05 11 11
ČEA	Vinohradská 8	120 00 Praha 2	02/24 21 77 74
Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů	Na mlejnků 2/781	147 00 Praha 4	02/44467062
SFŽP	Kaplanova 1931/1	148 00 Praha 4	02/67 99 43 00
ÚFA	Boční II 1401	141 31 Praha 4	02/67 10 31 11
Geomedia s.r.o.	Na Nivách 25	141 00 Praha 4	02/4148 4123
Svaz CHKT	Komunardů 6	170 00 Praha 7	02/83 87 08 07
Povodí Vltavy	Holečkova 8	150 00 Praha 5	02/57 09 111
Povodí Labe	Víta Nejedlého 951	500 82 Hradec Králové	049/50 88 733
Povodí Ohře	Bezručova 4219	430 26 Chomutov	0396/25 664
Povodí Odry	Varenská 49	701 26 Ostrava	069/66 57 111
Povodí Moravy	Dřevařská 11	601 75 Brno	05/72 71 111
PRE a.s.	Na Hroudě 4	100 05 Praha 10	02/67 05 11 11
STE a.s.	Vinohradská 8	120 21 Praha 2	02/22 03 11 11
SČE a.s.	Teplická 8	405 49 ečín IV	0412/571 111
ZČE a.s.	Guldenerova 19	303 28 Plzeň	019/700 11 11
JČE a.s.	Lannova tř. 16	370 49 České Budějovice	038/786 11 11
VČE a.s.	Sladkovského 215	501 03 Hradec Králové	049/584 11 11
SME a.s.	28. října 152	709 02 Ostrava	069/661 28 21
JME a.s.	Lidická 36	659 44 Brno	05/45 14 11 11
Asociace pro využití obnovitelných zdrojů energie	Novotného lávka 5	116 68 Praha 1	02/21 08 26 31
Česká asociace pro obnovitelné zdroje	Údolní 53	602 00 Brno	05/41 146 291
Asociace pro využití tepelných čerpadel	Slavíkova 26	130 00 Praha 3	02/22 71 13 27
Česká společnost pro sluneční energii	Novotného lávka 5	116 68 Praha 1	02/21 08 26 31
Česká společnost pro větrnou energii (Ústav fyziky atmosféry AV ČR)	Boční II. 1401	141 31 Praha 4	02/72 76 43 36
České sdružení pro biomasu - CZ Biom	Drnovská 507	161 06 Praha 6	02/33022 354
Výzkumný ústav okrasného zahradnictví		252 43 Průhonice	www.vuoz.cz
Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky	Mánesova 75	120 58 Praha 2	www.vuze.cz
EkoWATT	Bubenská 6	170 00 Praha 7	02/66710247 www.ekowatt.cz

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Beranovský, J.: Reálné podmínky využití obnovitelných zdrojů energie v České republice a jejich praktické aplikace. Písemná práce ke státní doktorské zkoušce, ZČU Plzeň, květen 2000.
- [2] Beranovský, J.: Renewable Energy Resources in the Czech Republic. Kurs Academia Istropolitana Nova, EEDEC – The Final Examination Topic: World Energy Resources – Renewable Fuels. EkoWATT, Praha, 1999.
- [3] Beranovský, J., Truxa, J.: Analýza potenciálu a ekonomické hodnocení OZE v ČR. Podklady pro varianty energetické politiky. Studie byla zpracována na zakázku Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. EkoWATT, Praha, 1998.
- [4] Beranovský, J., Juřica, J., Prchlík, L., Truxa, J.: studie Ekonomické hodnocení obnovitelných zdrojů energie. EkoWATT, Bubenská 6, 170 00 Praha 7, duben 1994.
- [5] Bednář, J.: Pozoruhodné jevy v atmosféře. Atmosférická optika, akustika a elektřina. Academia, Praha, 1989.
- [6] Bednář J., Zikmunda, O.: Fyzika mezní vrstvy atmosféry. Academia, Praha, 1985.
- [7] Bednář, J.: Malé vodní elektrárny 2. SNTL, Praha, 1989.
- [8] Cihelka, J.: Solární tepelná technika. T. Malina, Praha, 1994.
- [9] Časopis větrná energie
- [10] Dašek, M. a kol.: Územní energetický dokument hl. m. Prahy. SEVEN, Praha, 2000.
- [11] Dvořák, L., Klazar, J., Petrák, J.: Tepelná čerpadla. Praha, SNTL 1987.
- [12] Erban, P. a kol.: Energie slunečního záření a větru v podmínkách České republiky. Studie pro ČEZ, a. s. č. z. 713 - 5. VUPEK, a.s., Praha, 1995.
- [13] Fritschová, V., Myslík, V.: Hodnocení geotermálního potenciálu regionu Karlovy Vary. Geomedia s.r.o., Praha, 2000.
- [14] Gabriel, P., Čihák, F., Kalandra, P.: Malé vodní elektrárny. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1998.
- [15] Hájek, L.: Sluneční kolektory. Poradenská knihovna ČEA. ČEA, Praha, 1997.
- [16] Hančarová, D.: Zpracování kejdy. ÚVTIZ, č.5, 1991.
- [17] Heřmanský, B., Štoll, I.: Energie pro 21. století. Skripta. Vydavatelství ČVUT, Praha, 1992.
- [18] Huth, R., Štekl, J.: Struktura pole větru při zemi. Práce a štúdie 41, Bratislava, s. 115-125, 1989.
- [19] Hrdlička, F.: Osobní konzultace. ČVUT, Praha, 2000.
- [20] Jakubes, J.: Osobní konzultace. SRC International, Praha, 2000.
- [21] Jakubes, J., Splítek, V., Kodytek, Z.: Reálné podmínky a možnosti využití obnovitelných a netradičních zdrojů energie včetně malé kogenerace v ČR do r. 2010. Zpracováno pro Českou energetickou agenturu. SRC International s.r.o., Praha, 1998.
- [22] Jirků J., Popolanský, F.: Atmosférická přepětí v rozvodu elektrické energie. Praha, SNTL, 1966.
- [23] Kára, J., Adamovský, R.: Praktická příručka - obnovitelné zdroje energie, Mze ČR, Praha 1993.
- [24] Kára, J. a kol.: Program zaměřený na zvyšování energetické účinnosti a dosažení energetických úspor v zemědělském a potravinářském komplexu. Zpráva AD 1192/1, VÚZT Řepy, 1992.
- [25] Kára, J., Srámek, V., Hutla, P., Stejskal, F., Kopická, A.: Využití biomasy pro energetické účely. Poradenská knihovna ČEA. ČEA, Praha, 1997.
- [26] Kol. autorů: Katalog firem 1999 – 2000, obnovitelné zdroje energie. EkoWATT, Praha, 1999.
- [27] Kol. autorů: Energetický projekt regionu Karlovarsko. Zpracováno pro SFŽP ČR, SRC International CS, s.r.o. (hl. řešitel), Praha, 2000.
- [28] Kol. autorů: Národní studie energetické efektivnosti pro ČR. Zpracováno pro Světovou Banku. ECN - Netherlands Energy Research Foundation (hl. řešitel), 1999.
- [29] Kol. autorů: Hydrologické poměry Československa, 1. - 3. díl. ČHMÚ, Praha, 1970.
- [30] Kol. autorů: Energie slunečního záření a větru v podmínkách ČR. VUPEK, a.s., Praha, 1995.
- [31] Kol. autorů: Energie – kde ji vzít? Příručka. Associated Energy and Environment Officers, The Danish Organization for Renewable Energy, Viborg, Dánsko, 1993. Z angl. originálu

- The Sustainable Energy Handbook přeložil Beranovský, J., EkoWATT, Praha, 1993. ISBN 87-87669-74-1. Dotisk EkoWATT, Praha, 1995.
- [32] Kol. autorů: European Wind Turbine Catalogue. European Commission, Directorate-General for Energy (DG XVIII), s. 62.
- [33] Kol. autorů: Využití biomasy pro energetické účely. Česká energetická agentura, Praha, 1997.
- [34] Kol. autorů: Metodika komunální energetiky. Česká energetická agentura, Praha, 1997.
- [35] Kol. autorů: Základní zásady k provádění energetické regionální politiky a pro zpracování územně energetického dokumentu. Poradenská knižnice ČEA. ČEA, Praha, 1997.
- [36] Kol. autorů: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, 1994.
- [37] Kol. autorů: Informační listy o OZE. EkoWATT, Praha, 1997 a 2000.
- [38] Kol. autorů: Tepelná čerpadla, projektování a instalace. Stiebel Eltron, 1998.
- [39] Kol. autorů: Sborník z konference Obnovitelné zdroje energie BRNO '95. Česká společnost pro sluneční energii, VUES Brno a.s., 1995.
- [40] Kol. autorů: Kombinované energetické systémy s využitím obnovitelných zdrojů energie. ČEA, Praha, 1997.
- [41] Kol. autorů: Možnosti rekonstrukce větrné elektrárny na Božím Daru. EkoWATT, Praha 1997.
- [42] Kožený, J.: Osobní konzultace. ZČU, Plzeň, 2000.
- [43] Kuntzsch, J., Daniels, W.: Windenergienutzung im Freistaat Sachsen. Ein Projekt des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landesentwicklung, s. 139, 1994.
- [44] Likeš, J., Machek, J.: Počet pravděpodobností. Matematika pro vysoké školy technické. Sešit X. SNTL, Praha, 1987.
- [45] Melichar, J.: Malé vodní turbíny. Skripta. ČVUT, fakulta strojní, Praha, 1995.
- [46] Mikulčák, J. a kol.: Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy. SPN, Praha, 1988.
- [47] Myslík, V., Stibitz, M., Fritschová, L.: Potenciál geotermální energie v ČR. Zpracováno pro EkoWATT. Geomédia, Praha, 2000.
- [48] Nosek, M.: Metody v klimatologii. Academia, Praha, s. 433, 1972.
- [49] Pastorek, Z. a kol.: Využití odpadní biomasy rostlinného původu. Metody pro zemědělskou praxi č. 12/1999. ÚVTIZ, MZE ČR, Praha, 1999.
- [50] Pázral, E., Kára, J., Kotková, J., Svobodová, V.: Kombinované energetické systémy s využitím obnovitelných zdrojů energie. Poradenská knižnice ČEA, Česká energetická agentura, Praha, 1997.
- [51] Pažout, F. Hutla P.: Praktická příručka obnovitelné zdroje energie 3/1993. Ministerstvo zemědělství České republiky, 1993.
- [52] Povýšil, R. a kol.: Zásady tvorby a užití energetické statistiky sídelních útvarů a regionů. Poradenská knižnice ČEA. ČEA, Praha, 1998.
- [53] Povýšil, R.: Obecné zásady tvorby a analýzy energetických bilancí. Poradenská knižnice ČEA. ČEA, Praha, 1998.
- [54] RAEN, spol. s r. o.: Alternativní zdroje energie. Poradenská knižnice ČEA, ČEA, 1997.
- [55] Rychetník, V., Pavelka, J., Janoušek, J.: Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha, 1997.
- [56] Scholes, H.; Manning, M.; Markvart, T.: Czech Republic Renewable Energy Study; Resource Assessment Report, CSM Associates Ltd., Penryn, UK, 1997.
- [57] Simanov, V.: Dříví jako energetická surovina. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 1993.
- [58] Studie VTR: Využití biomasy k energetickým účelům. ÚVTIZ, č. 19, 1986.
- [59] Sládek, I., Rychetník, V.: Větrná situace v ČR, Praha, 1989.
- [60] Sladký, V.: Spalování biomasy. Příloha Agrospoje, č.19/1993, Praha, Ministerstvo zemědělství 1993.
- [61] Součková, H.: Výhled energetického využití biomasy do roku 2005. Studie pro EkoWATT, Praha, 1998.
- [62] Šeftě, J. I.: Využití energie větru. SNTL, Praha, 1991.
- [63] Škorpil, J.: Energetika a obnovitelné zdroje. Přednáška pro konferenci RACIO '99. Plzeň, 1999.
- [64] Škorpil, J., Kasárník, M.: Obnovitelné zdroje energie I. Malé vodní elektrárny. ZČU, Plzeň, 2000.

- [65] Škorpil, J.: Osobní konzultace. ZČU, Plzeň, 2000.
- [66] Štekl, J. a kol.: Perspektivy využití energie větru pro výrobu elektrické energie na území ČR. Výzkumná práce ÚFA AV ČR. Praha, 1993.
- [67] Štekl, J., et al.: Meteorologie ve větrné energetice. Větrná energetika 1/97, ČSVE, 1997.
- [68] Štibranný, P.: Větrná energetika.
- [69] Tintěra, L. a kol.: Dosavadní zkušenosti s provozem větrných elektráren a podmínky jejich budoucí konkurenceschopnosti na trhu s elektřinou v ČR. Souhrnná zpráva. Studie č. 99/028/c. SEVEN, Praha, 1999.
- [70] Trnobranský, K., Valentová, M., Dufour, R.: Energetické využívání dřevních odpadů. Poradenská knihovna ČEA. ČEA, Praha, 1998.
- [71] Trnobranský, K.: Podklady pro energetický audit objektů se zařízením využívajícím biomasu. RAEN, Praha, 1999.
- [72] Truxa, J., Beranovský, J., Vronský, T., Hanák, P.: Energetický dokument obce Boží Dar. EkoWATT, Praha, 1987.
- [73] Truxa, J. a kol.: Využití obnovitelných zdrojů energie v regionu Karlovarska. Zpracováno v rámci ÚEK regionu pro SRC International CZ. EkoWATT, Praha, 2000.
- [74] Truxa, J.: Možnosti využití OZE v Praze. Zpracováno v rámci ÚEK Praha pro SEVEN. EkoWATT, Praha, 2000.
- [75] Vaníček, K. a kol.: Popis pole globálního záření na území České republiky v období 1984 - 1993. Národní klimatický program české republiky, Praha, 1994.
- [76] Vaníček K., Čeněk J., Reichrt J.: Sluneční záření na území ČSSR. MLVH ČSR ve spolupráci a DT ČSVTS Pardubice, Pardubice 1985.
- [77] Vronský, T., Beranovský, J., Truxa, J.: Studie proveditelnosti pro větrnou farmu Boží Dar. EkoWATT, Praha, 1995.
- [78] Vronský, T.: Potential of Wind Energy Development in the Czech Republic. Zpracováno pro Border Wind Ltd. EkoWATT, Praha, 1998.
- [79] Vronský, T.: Renewable Energy and Efficiency Fingerbook. Success stories, renewable energy potential. EkoWATT, Praha, 1997.

SEZNAM TABULEK

tabulka 1: Základní členění obnovitelných zdrojů energie.	8
tabulka 2: Průměrné měsíční hodnoty součinitele Z pro oblasti s rozdílnou čistotou ovzduší v podmínkách střední Evropy [8].	29
tabulka 3: Hodnoty albeda pro některé druhy zemského povrchu, [5], [75].	32
tabulka 4: Stanice radiační síť ČHMÚ v roce 1993.	36
tabulka 5: Průměrný denní chod hodinových součtů globálního záření v Hradci Králové v letech 1966-75, jejich průměrný denní úhrn v jednotlivých měsících roku [kJ/m^2].37	
tabulka 6: Průměrné hodinové sumy rozptýleného slunečního záření D_h a standatní odchylky STDD $_h$ hodinových sum rozptýleného slunečního záření v J/cm^2 vztažené k 15. dni každého měsíce, 1964-1993.[75]	38
tabulka 7: Průměrné měsíční sumy slunečního svitu vybraných měst v letech 1971-80, jejich průměrný úhrn v jednotlivých měsících roku [h] [76].	39
tabulka 8: Zdroje dat pro odhad současného využití sluneční energie (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	41
tabulka 9: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat ke spotřebě během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 W_p dle měsíců.....	42
tabulka 10: Klíč převodu anglického značení směru větru na číselnou stupnici.....	47
tabulka 11: Synoptické termíny podle světového času a středoevropského času platného v ČR.	48
tabulka 12: Orientační koeficienty pro extrapolaci rychlostí větru pro vrstvu více než 16 m zemským povrchem.....	49
tabulka 13: Zdroje dat pro odhad současného využití energie větru (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	60
tabulka 14: Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu energie větru (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	61
tabulka 15: Přehled nejdůležitějších kritérií pro využití energie větru.	64
tabulka 16: Obsah prchavé hořlaviny tuhých paliv.	66
tabulka 17: Závislost relativní vlhkosti štěpky na době skladování ve větraném skladu. Zdroj Kára 1997.....	68
tabulka 18: Jednotky a termíny pro objemové značení dřevní hmoty.	69
tabulka 19: Vzájemné přepočty mezi jednotkami objemu dřevní hmoty.	69
tabulka 20: Vzájemné přepočty mezi jednotkami objemu dřevní hmoty [49], [70].....	69
tabulka 21: Využití produkce slámy obilnin, pro energetické účely lze počítat zejména s produkcí z kategorie 3.....	70
tabulka 22: Přepočty mezi výtěžnostmi zrna a slámy pro jednotlivé druhy plodin.....	70
tabulka 23: Průměrné složení pevných komunálních odpadů ve střední Evropě. Zdroj Schlesinger, 1977.....	71
tabulka 24: Množství a látkové složení TKO podle analýz z let 1992 - 94, zdroj VÚMH Praha.71	
tabulka 25: Optimální teplotní pásma anaerobních bakterií.....	72
tabulka 26: Produkce bioplynu z hlavních složek organických látek. [49].....	73
tabulka 27: Orientační klíčová čísla pro odhad množství vyrobeného bioplynu za rok od jednotlivých kategorií zvířat. [49].....	74
tabulka 28: Výroba bioplynu z exkrementů v živočišné výrobě od jednotlivých druhů zvířat podle výzkumu a praxe.....	74

tabulka 29: Průměrné ukazatele účinnosti, výhřevnosti a měrných spotřeb.	76
tabulka 30: Zdroje dat pro odhad současného využití energie biomasy energie (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	77
tabulka 31: Energetické plodiny.	78
tabulka 32: Orientační klíčová čísla pro výhřevnost, výnosy, doba sklizně a sklizňová vlhkost energetické fytomasy. [60].....	79
tabulka 33: Charakteristika klimatických regionů ČR. [61].....	80
tabulka 34: Přehled jednoletých plodin pro energetické účely. [61]	81
tabulka 35: Přehled vytrvalých rostlin vhodných pro energetické účely. [61].....	82
tabulka 36: Sklizňová plocha, hektarové výnosy a celková produkce řepky v ČR.	85
tabulka 37: Výhřevnost paliv.	85
tabulka 38: Výhřevnost biomasy.	87
tabulka 39: Účinnost využití paliv a energie v různých typech vytápěcích systémů.	88
tabulka 40: Příklad M-denní průtokové závislosti.	94
tabulka 41: Zdroje dat pro odhad současného využití energie vody (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	98
tabulka 42: Zdroje dat pro stanovení využitelného potenciálu energie vody (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	99
tabulka 43: Nejčastější typy tepelných čerpadel.....	102
tabulka 44: Orientační hodnoty potřebné vydatnosti zdroje tepla a dovolené vstupní teploty teplosnosné látky do výparníku (Zdroj: Ing. Karel Kodiš, Geoterm s. r. o.).....	104
tabulka 45: Zdroje dat pro odhad současného využití geotermální energie a energie prostředí (1 - nejlepší až 5 - nejhorší).	106
tabulka 46: Průměrné měsíční a roční sumy solárního svitu v Praze [76].	113
tabulka 47: Potenciál využití solární energie vycházející z počtů a druhů budov.....	113
tabulka 48: Potenciál využití solární energie vycházející z druhu vytápění.....	114
tabulka 49: Hodnoty slunečního svitu v průběhu roku.	114
tabulka 50: Průměrné měsíční toky globálního slunečního záření za rok.	115
tabulka 51: Potenciál energie větru varianta A (34 elektráren o výkonu 300 kW).	118
tabulka 52: Potenciál energie větru varianta B (19 elektráren o výkonu 600 kW).	119
tabulka 53: MVE provozované v okrese Karlovy Vary ke dni 29.2.2000.....	121
tabulka 54: Vhodné lokality pro výstavbu MVE v karlovarském regionu.	121
tabulka 55: Oblasti a zjištěné průměrné tepelné toky pod povrchem země v regionu.....	122
tabulka 56: Využitelný potenciál obnovitelných zdrojů energie po subregionech [GJ/rok]. .	123

SEZNAM OBRÁZKŮ

obrázek 1: Distribuční křivka používaná pro ocenění ekonomického potenciálu technologií pro využívání OZE.....	10
obrázek 2: Příklad vyhodnocení struktury spotřeby primárních zdrojů energie [%] v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko.	14
obrázek 3: Příklad vyhodnocení potenciálu obnovitelných zdrojů energie po subregionech [GJ/rok] v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko.....	14
obrázek 4: Příklad vyhodnocení podílu současného využití OZE na spotřebě primárních energetických zdrojů v rámci energetického konceptu regionu Karlovarsko v prostředí GIS.	15
obrázek 5: Schéma jednookruhového solárního systému se samotížným oběhem pro ohřev TUV.....	21
obrázek 6: Schéma jednookruhového solárního systému s nuceným oběhem pro ohřev TUV.....	21
obrázek 7: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.....	22
obrázek 8: Dvouokruhový solární systém s nuceným oběhem.....	22
obrázek 9: Průměrné roční sumy globálního záření v MJm ⁻² [76].....	40
obrázek 10: Lokalizace větrných elektráren v České republice.	45
obrázek 11: Větrná farma na Mravenečnicku. Foto Kappel.	47
obrázek 12: Vertikální profily větru před a nad idealizovaným kopcem. I je výška, v níž zesílení rychlosti dosahuje nejvyšší hodnoty [32].	50
obrázek 13: Schématické vertikální profily rychlosti větru v přízemní vrstvě při různých parametrech drsnosti [43].	51
obrázek 14: Schématické vyjádření vzniku interní mezní vrstvy při skokovité změně drsnosti povrchu [67].....	51
obrázek 15: Výška interní mezní vrstvy h jako funkce vzdálenosti x od diskontinuity drsnosti povrchu pro čtyři třídy parametru drsnosti [32].	52
obrázek 16: Výkonové křivky větrné elektrárny VE 75.	56
obrázek 17: Výkonová křivka modifikované větrné elektrárny VE 75 s prodlouženými listy. Graf ukazuje přírůstek vyrobené energie v důsledku nastavení listů.....	57
obrázek 18: Výkonová křivka větrných elektráren Seewind a Vestas.....	57
obrázek 19: Mapa námrazy na území ČR podle Popolanského. [18].....	58
obrázek 20: Reprodukce z Větrného atlasu Evropy, 1989.....	59
obrázek 21: Větrný atlas České republiky.	60
obrázek 22: Průměrná rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí. [20].	62
obrázek 23: Zásobníkový systém na zpracování slamnatého hnoje v Jindřichově. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT.....	73
obrázek 24: Kontinuální systém na zpracování kejdy v Dánsku. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT.....	73
obrázek 25: Schéma bioplynové stanice, kontinuální systém.....	75
obrázek 26: Zpracování odpadní biomasy štěpkováním. Foto Jiří Beranovský, EkoWATT..	78
obrázek 27: Konopí seté na antropogenní půdě. Foto laskavě zapůjčila Vlasta Petříková. ..	84
obrázek 28: Typy nejčastěji používaných turbín.....	91
obrázek 29: Určování spádu bez nivelačního přístroje.....	94

obrázek 30: Roční odtoková závislost, vlivy na roční výrobu el. energie v důsledku nuceného nevyužití toku: Čára překročení průtoků, ztráta při nízkých průtocích, ztráta při povodňových průtocích. [14].....	95
obrázek 31: Izočáry průměrných specifických odtoků. [14]	95
obrázek 32: Tepelné čerpadlo vzduch / voda, vzduch se ohlazuje ve výměníku umístěném vně budovy.....	100
obrázek 33: Oproti předchozímu způsobu je výměník umístěn uvnitř budovy.	101
obrázek 34: Tepelné čerpadlo nemrznoucí kapalina/voda, výměník naplněný nemrznoucí směsí ochlazuje půdu ve vrtu nebo ve výkopu, případně vodu ve vodním toku nebo v rybníce.....	101
obrázek 35: Ochlazováním vody čerpané z hluboké (sací) studny, kde je teplota stálá, získáme velmi vyrovnaný a účinný zdroj tepla. Ochlazená voda se vypouští do druhé (vsakovací) studny.....	102
obrázek 36: Princip tepelného čerpadla.....	103
obrázek 37: Geotermální členění ČR. [47]	107
obrázek 38: Legenda viz obrázek 37.	108
obrázek 39: Teplota vody ve vrtech v hloubce 100 m. [47]	109
obrázek 40: Izolinie tepelného toku na území ČR. [47]	110