

AKTIVNĚ A UDRŽITELNĚ V KRAJI POD ŠUMAVOU

Občanské sdružení „**CHANCE IN NATURE - LOCAL ACTION GROUP**“
Projekt „**Aktivně a udržitelně v Kraji pod Šumavou**“
Registrační číslo CZ.1.07/3.1.00/37.0157

Studijní materiály vzdělávací akce

Udržitelná energetika v regionu

Autor/autoři: J. Pokorný, V. Jirka, R. Lhotský,
E. Řehoř, M. Kajan

Datum vydání: 30. dubna 2013

www.chanceinnature.cz



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

**CHANCE IN NATURE
LOCAL ACTION GROUP**

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

OBSAH

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Úvod | 2 |
| 2 | Tok sluneční energie od Slunce k povrchu Země | 3 |
| | 2.1 Distribuce slunečního záření na zemském povrchu | 5 |
| | 2.2 Distribuce sluneční energie na suchém povrchu a v porostu | 6 |
| | 2.3 Biomasa a energetická účinnost její tvorby | 9 |
| 3 | Obnovitelné zdroje energie | 12 |
| | 3.1 Technické možnosti přímého využití sluneční energie – systémový přístup | 12 |
| | 3.2 Pasivní využití sluneční energie - solární architektura | 14 |
| | 3.3 Využití sluneční energie v architektuře | 17 |
| 4 | Systémy, využívající fototermální kapalinové kolektory | 18 |
| | 4.1 Kolektory slunečního záření | 18 |
| | 4.2 Oblasti vhodného použití jednotlivých typů kolektorů | 19 |
| | 4.3 Expanzní nádoba | 21 |
| | 4.4 Akumulační nádoby (solární zásobníky) | 21 |
| | 4.5 Výměníky | 22 |
| | 4.6 Potrubí a izolace | 22 |
| | 4.7 Oběhové čerpadlo | 22 |
| | 4.8 Elektronické regulátory | 23 |
| | 4.9 Ostatní součásti solárních systémů | 23 |
| | 4.10 Nosné konstrukce | 24 |
| 5 | Provedení některých solárních soustav pro využití sluneční energie | 25 |
| | 5.1 Rozdělení solárních soustav | 27 |
| | 5.2 Solární soustava s bivalentní akumulací | 27 |
| | 5.3 Závěr | 30 |
| 6 | Větrná energie | 30 |
| | 6.1 Autonomní systémy – grid off | 31 |
| | 6.2 Systémy dodávající energii do rozvodné sítě - grid-on | 31 |
| 7 | Přeměna sluneční energie na elektrickou (fotovoltaika) | 31 |
| | 7.1 Požadavky zákona pro výstavbu větrných a fotovoltaických elektráren | 33 |
| | 7.2 Výhody / nevýhody větrných a slunečních elektráren | 35 |
| 8 | Energie vodních toků | 37 |
| 9 | Travní biomasa ve vztahu k výrobě bioplynu | 39 |
| 10 | Literatura | 47 |

1 ÚVOD

Texty obsažené v tomto sborníku slouží jako informace pro účastníky seminářů „Odpovědný přístup k životnímu prostředí – Udržitelná energetika v regionu“. Semináře organizuje Občanské sdružení Chance in nature – Local Action Group se sídlem v Malenicích.

Autorem textů jsou pracovníci ENKI, o.p.s. a jejich spolupracovníci. Podklady pro tyto texty vznikaly při řešení výzkumných úkolů i při konkrétních praktických zakázkách řešených od 80tých let minulého století.

Říká se, že drogou moderní západní společnosti jsou ropa, uhlí, zemní plyn případně atomová energie. Díky mechanizaci a naftě pracuje v zemědělství jen asi 2% zaměstnané populace. Díky fosilním palivům a parnímu stroji začala v 18. století průmyslová revoluce, rozvíjela se tovární výroba, doprava i komfort bydlení.

Výdaje na energii tvoří podstatnou část rodinných, firemních rozpočtů a veřejných rozpočtů. Vlády zadávají studie pro vytváření energetických strategií, panují přitom nejrůznější a často protichůdné názory na využívání fosilních paliv, jaderné energie a alternativních zdrojů, nazývaných souhrnně OZE – obnovitelné zdroje energie.

Texty uveřejněné v tomto sborníku shrnují informace o distribuci sluneční energie v krajině, aktivním využití sluneční energie (kolektory fototermální, fotovoltaické), pasivním využití sluneční energie (architektura) a nepřímém využití sluneční energie (větrná, vodní, biomasa).

Texty slouží zejména jako podklad pro diskusi na seminářích, které proběhnou v květnu a červnu 2013. Děkuji svým spolupracovníkům za ochotu při výběru témat a sestavování těchto studijních materiálů.

Za kolektiv autorů

Doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.

ENKI, o.p.s.

Třeboň, Dukelská 145

379 01

www.enki.cz

2 TOK SLUNEČNÍ ENERGIE OD SLUNCE K POVRCHU ZEMĚ

Povrch Slunce má teplotu 6000 K a vysílá záření o vlnové délce s maximem 500nm, většina sluneční energie je v oblasti světlené a blízké infračervené.

Na povrch zemské atmosféry přichází v průběhu roku 1351 – 1431 W.m⁻². Tyto hodnoty byly změřeny družicemi. Příkon slunečního záření se v průběhu roku mění, protože Země obíhá kolem slunce po eliptické dráze, vzdálenost Země od Slunce se v průběhu roku mění. Množství slunečního záření měřené v konstantní vzdálenosti od Slunce se mění dlouhodobě v rozsahu 1% a proto se nazývá sluneční konstantou. **Hodnota sluneční konstanty se uvádí 1367 W.m⁻²**

Vynásobíme-li hodnotu solární konstanty průmětem Země, získáme množství sluneční energie, které přichází na planetu Země – je to 180 000TW. Množství energie, které člověk získává z uhlí, nafty, plynu, atomové energie, biomasy je asi 12TW, tedy desetina promile energie, která přichází od Slunce.

Představme si, že sluneční energie na Zem nepřichází, Země byla od Slunce odstíněna dokonale reflexní folií, která působí jako zrcadlo. Věnujte, prosím několik minut této představě.

Bez příkonu sluneční energie by Země vychladla na několik Kelvinů, tedy na teplotu nižší než - 200 °C , její teplota by se blížila k absolutní nule. Slunce tedy stačí „vytápět“ povrch naší planety na přijatelnou teplotu (průměrně kolem 20 °C), přestože okolo ve vesmíru je teplota o více než dvě stě stupňů nižší. Slunce ohřívá naši planetu asi o 290 °C.

Na Slunci, v bezpečné vzdálenosti od naší Země (150 milionů kilometrů), probíhá již několik miliard let fúze jader vodíku na jádra helia, ta jsou o něco lehčí nežli do reakce vstupující jádra vodíku. Rozdíl hmotností je podle známého Einsteinova vztahu ($E = m.c^2$) úměrný množství uvolněné energie. Tímto způsobem se z jednoho kilogramu těžkého vodíku uvolní jadernou fúzí 333 bilionů Wh (333 miliard kWh). Tato reakce bude probíhat ještě miliardy let. Slunce je tedy z hlediska délky lidského života i z hlediska délky lidských civilizací nevyčerpatelným zdrojem energie. Termojaderná reakce probíhá v horké plazmě uvnitř Slunce při teplotě několika milionů K. Slunce je bezpečný reaktor. Přehřátí vede ke zvýšenému uvolňování energie, což by mělo znamenat další zvýšení teploty až ke katastrofickému výbuchu. K výbuchu ovšem nedojde, protože zvýšení teploty je provázeno zvýšením tlaku, zvýšení tlaku vede ke zvětšení objemu a tudíž ke snížení teploty – Slunce má prostor pro samoregulaci.

Zatímco uvnitř Slunce je teplota několik milionů K, povrch Slunce má teplotu přibližně 6000 K. Teplotou povrchu je určeno spektrální složení emitovaného záření: s rostoucí teplotou se maximum emitovaného záření posunuje ke kratším vlnovým délkám. Vlnová délka emitovaného záření tedy závisí na absolutní teplotě tělesa (T), maximum vlnové délky se vypočítává podle Wienova zákona posuvu ($\lambda_{max} = 2897/T$).

Spektrální rozsah slunečního záření je 30 až 3000 nm, většina sluneční energie přichází v oblasti viditelného záření, energetické maximum je okolo 500 nm. Vlnové délky nižší než 400 nm připadají UV záření, které lidské oko neregistruje. Vlnové délky přibližně 400 - 700 nm připadají na fotosynteticky aktivní světelné záření, vlnové délky nad 800 nm se již počítají k infračervenému záření, tedy k záření tepelnému.

UV (ultraviolet = ultrafialové) je záření o vlnových délkách nižších než 400 nm, tedy záření kratších vlnových délek než vnímá lidské oko. UV záření se pohlcuje v horních vrstvách atmosféry, zejména díky ozónu. Je-li ozónová vrstva v atmosféře slabší, prochází na povrch zemský více UV záření s vlnovou délkou pod 400 nm. UV záření tvoří pouze několik procent sluneční energie přicházející na zemský povrch. Jeho zvýšení je však velmi nebezpečné nejenom člověku a dalším živočichům,

ale i rostlinám, zejména jehličnatým stromům.

Pro fotosyntézu rostlin má přímý význam jen část slunečního spektra: 400 - 700 nm (fotosynteticky aktivní záření, FAR, PhAR), co do množství energie tvoří necelou polovinu (45%) záření globálního.

Po průchodu atmosférou je spektrum slunečního záření ochuzeno o některá pásma. Při jasné obloze se dostávají na povrch zemský v našich podmínkách až dvě třetiny hodnoty solární konstanty. V atmosféře se tedy pohlcuje nejméně jedna třetina záření. Při průchodu atmosférou se sluneční záření absorbuje zejména ve vodní páře, rozptyluje se a odráží na částicích a aerosolech.

Veškeré **sluneční záření** přicházející na zemský povrch se nazývá **globální**, zahrnuje přímé i rozptýlené záření všech vlnových délek. Při zatažené obloze postrádá sluneční světlo dopadající na zemský povrch složku záření přímého, je tvořeno pouze zářením rozptýleným. Hustá oblačnost pohlcuje velkou část slunečního záření. Zatímco při jasné obloze přichází na zemský povrch až 1000 W.m⁻² slunečního záření, při husté oblačnosti prochází pouze několik desítek W.m⁻². Lidské oko se dokonale přizpůsobuje intenzitě světla změnou velikosti zornic. Proto jsme schopni vidět jak při plném slunečním svitu, tak i v šeru měsíčního svitu, který dosahuje hodnot tisíců W.m⁻². Naše oko nám tedy umožňuje vidění v rozsahu více než šesti řádů intenzity světla. Díky této akomodaci oka dokážeme ovšem jen těžko intenzitu světla kvantifikovat.

Při průchodu atmosférou se část sluneční energie rozptýlí, odráží a se část absorbuje. Za jasného jarního – podzimního dne přichází na metr čtverečný až 1000W sluneční energie. Za oblačného počasí se snižuje intenzita na polovinu a při velmi zatažené obloze naměříme na povrchu Země méně než 100 W.m⁻². Množství vody ve vzduchu a její skupenství tedy zejména určují, kolik sluneční energie přichází na povrch zemský.

V našich podmínkách mírného pásma přichází za rok na metr čtverečný 1000 – 1200 kWh sluneční energie. V suchých oblastech tropů a subtropů je to až 2x více (2200 W.m⁻²).

Jednotky

*Jednotkou intenzity záření (správně, ale poněkud těžkopádně „jednotkou intenzity zářivého toku“) je **watt (W)**, tedy Joule za sekundu (J.s⁻¹). 1 watt je výkon, při němž se vykoná práce 1 joulu za 1 sekundu. Energie dopadajícího záření se potom vyjadřuje v sumách J na jednotku plochy nebo ve watt hodinách (Wh) Množství energie vyjádřené v Joulech se převádí na Wh vydělením 3600 (počet sekund v jedné hodině). V našich podmínkách v růstové sezóně dopadá průměrně 16 MJ.m⁻² (4,4 kWh) za den. V letním dnu dosahuje sluneční záření hodnot až 1000 W.m⁻². V mírném pásmu přichází za rok 1100 – 1200 kWh sluneční energie na metr čtvereční.*

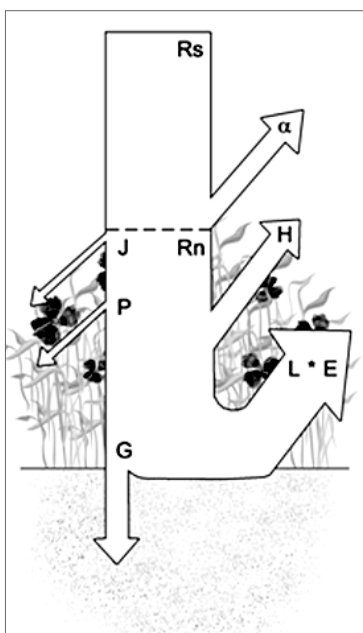
*Kromě wattu se používají i další jednotky k vyjádření toku slunečního záření. Jednotka **einstein (E)** vychází z kvantové povahy světla a vyjadřuje 1 mol světelných kvant. V našich podmínkách při plném slunečním svitu přichází asi 1800 mikroE.cm⁻².s⁻¹. Je zřejmé, že určitý počet kvant například v modré oblasti spektra má vyšší energii nežli stejný počet kvant světla červeného.*

*Jinou, zejména dříve obvyklou jednotkou, je **lux**. Tato jednotka vycházející z citlivosti lidského oka. Plný sluneční svit odpovídá asi 120 000 lux. Jeden lux je odvozen od svítivosti povrchu černého tělesa rozžhaveného na teplotu tuhnutí platiny (1773 °C).*

Soustavné měření slunečního záření v energetických jednotkách případně v Einsteinech se postupně rozšiřuje s dostupností čidel a záznamových zařízení. V běžných meteorologických stanicích se délka slunečního svitu tradičně měří Stokesovým heliografem, obdivuhodným a spolehlivým zařízením: skleněná koule koncentruje sluneční záření a vypaluje úzký proužek do pásky ze silného papíru. Vypálená stopa určuje délku slunečního svitu, neurčuje však množství přicházejícího záření.

2.1 Distribuce slunečního záření na zemském povrchu

Sluneční záření, které přichází na zemský povrch, se částečně odráží, částečně ohřívá povrch země a od ní se ohřívá vzduch. Ten turbulentně proudí vzhůru (zjevné teplo), část energie se spotřebuje na výpar vody (latentní, skryté teplo evapotranspirace) a část přechází do země (tok tepla do půdy).



*Rs ...globální radiace, Rn ...čistá radiace, J ...hromadění tepla v biomase, P ...fotosyntéza, G ...tok tepla do půdy, α ... albedo, H zjevné (pocitové) teplo, L^*E ...latentní teplo* evapotranspirace*

Obr. č. 1 - Schéma toků sluneční energie v porostu

Sluneční záření přicházející k zemi obsahuje tedy následující složky:

Odražené záření: Distribuce sluneční energie závisí na povaze zemského povrchu, Část záření se odráží hned po dopadu. Poměr mezi zářením odraženým a dopadajícím se nazývá albedo (bělost). Vysoké albedo (vysoký odraz) má světlý, suchý povrch. Naopak nízké albedo má tmavý povrch a zejména voda a tedy i vlhká vegetace. Na obrázku 3a jsou znázorněny průměrné denní průběhy odraženého krátkovlnného slunečního záření pro vodní hladinu rybníka, mokrou louku, louku, pole a betonovou plochu. Průměrné denní chody albeda jsou vyneseny v grafu č. 3b. Je zřejmé, že nejvyšší odraz má betonová plocha (25 – 30%), nejnižší albedo má vodní hladina (okolo 10%), vegetace odráží okolo 20% přicházejícího slunečního záření. Vysoké hodnoty albeda ráno a večer jsou způsobeny jednak nízkým úhlem slunce, jednak nízkými hodnotami jak přicházejícího, tak odraženého záření.

Čistý tok záření (krátkovlnného a dlouhovlnného) mezi zemským povrchem a atmosférou přes jednotku plochy se nazývá čistá radiace (čisté záření, R_N). Je to suma veškeré přicházející energie mínus suma veškeré energie odcházející (vyzařované, emitované). V létě je čisté záření pozitivní, v zimě je negativní.

Dlouhovlnné záření, jehož bilance se řídí Stefan-Boltzmannovým zákonem, podle kterého množství energie vyzařované absolutně černým tělesem roste se čtvrtou mocninou termodynamické teploty zářícího tělesa ($E = \sigma (T_s)^4$). Z tohoto vztahu vyplývá, že rozdíl jednoho stupně ($^{\circ}C$, K) mezi dvěma objekty vyvolá tok přibližně $5 W.m^{-2}$.

Zjevné teplo: Sluneční energie ohřívá povrch a od něho se ohřívá vzduch, který turbulentním prouděním stoupá vzhůru. Vzrůstající teplotu povrchu i vzduchu vnímáme a můžeme ji měřit teplo-

měrem, proto se nazývá teplem zjevným (citelné, pociťové, anglicky sensible heat).

Skupenské teplo (latentní, skryté) je energie nutná k přeměně skupenství, například kapalného na skupenství plynné. Výpar vody není provázen vzrůstající teplotou, protože energie se spotřebovává na změnu skupenství, tedy na zrychlený kinetický pohyb molekul, následkem kterého se kapalina přeměňuje na vodní páru. Při kondenzaci vodní páry zpět na kapalinu se skupenské teplo uvolňuje.

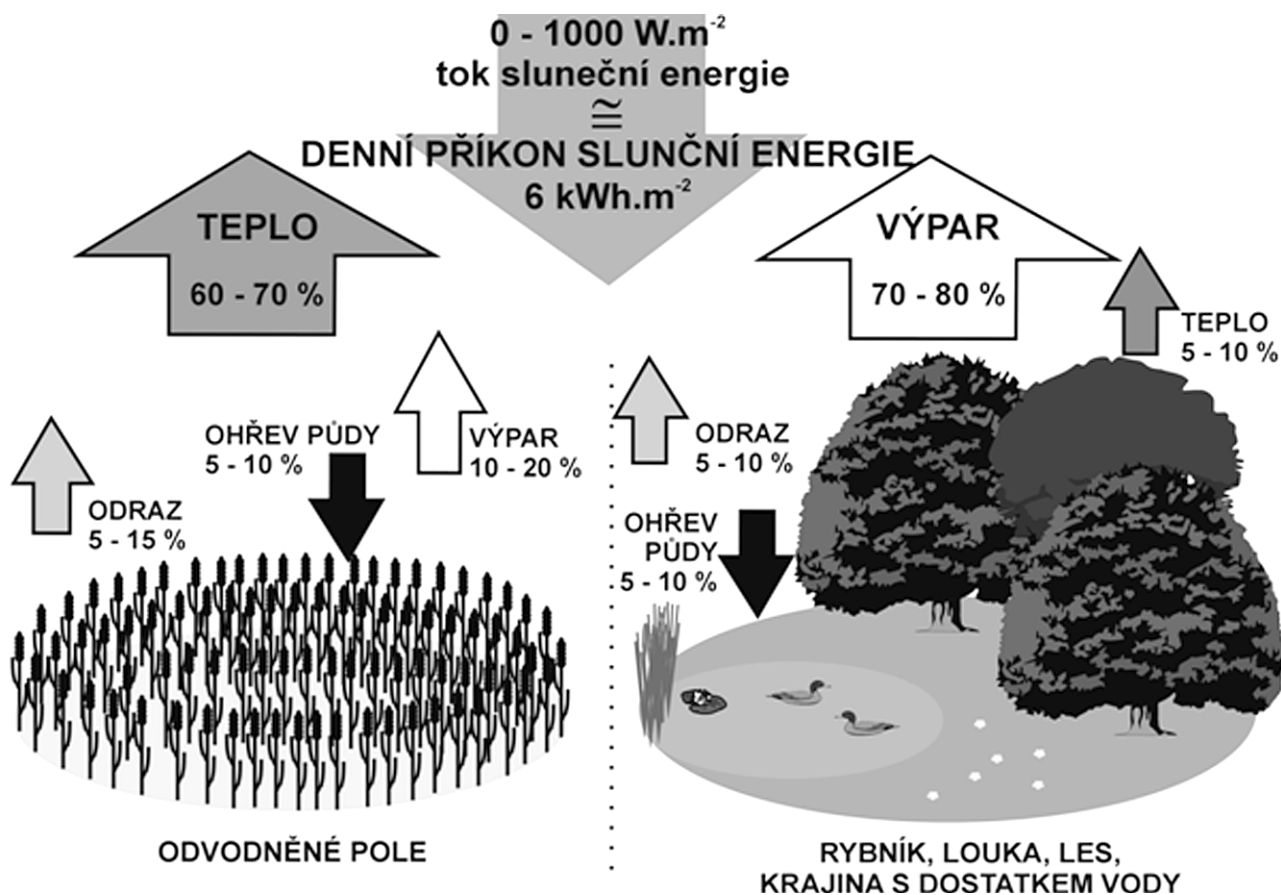
Tok tepla do půdy (vedení tepla). V létě se půda postupně ohřívá (tok tepla je kladný), v zimě nebo během chladné noci v létě půda chladne (tok tepla je záporný).

Fotosyntéza. Tok sluneční energie fotosyntézou do biomasy tvoří velmi malou část celkové energetické bilance. Počítá se jako množství sluneční energie vázané ve vznikající biomase. Opačným procesem je dýchání, při kterém se energie uvolňuje rozkladem organických látek.

Ohřev porostu. Množství energie spotřebované na ohřev porostu závisí na množství biomasy a obsahu vody v této biomase.

2.2 Distribuce sluneční energie na suchém povrchu a v porostu

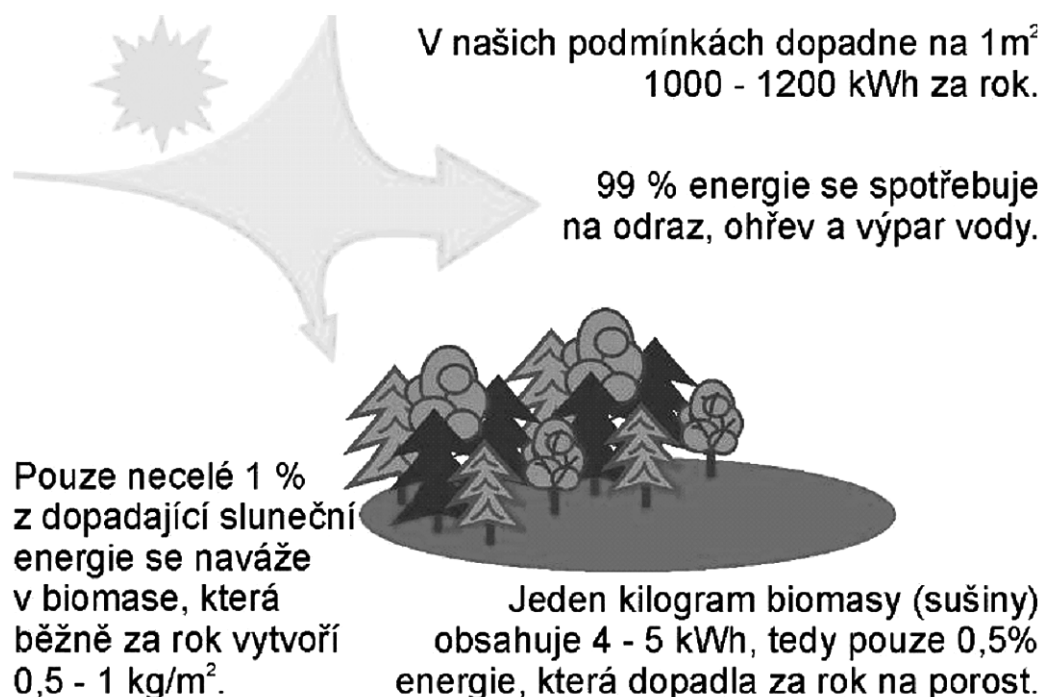
Pokud sluneční energie přichází na suchý povrch, ohřívá jej a od ohřátého povrchu se ohřívá vzduch, který stoupá vzhůru. Sluneční energie se v tomto případě přeměňuje převážně na zjevné teplo. Na obrázku č. 2 je znázorněn rozdíl v distribuci sluneční energie na suchém povrchu a v porostech dobře zásobených vodou.



Obr. č. 2 - Rozdíl v distribuci sluneční energie na suchém povrchu a v porostech dobře zásobených vodou (Pokorný et Květ, 2004).

V krajině zásobené vodou a pokryté vegetací se podstatná část slunečního záření spotřebovává na výpar vody. Rostliny totiž vypařují vodu přes průduchy (transpirace) a voda se vypařuje též přímo z půdy (evaporace). Výpar vody porostem se nazývá proto evapotranspirací. Rostlinami a půdou se z metru čtverečního za den odpaří několik litrů vody. Na výpar jednoho litru vody o teplotě 20 °C se spotřebuje 2,45 MJ \approx 0,68 kWh sluneční energie, při odpaření 5 litrů se tedy do vodní páry váže 3.4 kWh, více než polovina dopadající sluneční energie. Sluneční energie vázaná ve vodní páře ve formě skupenského tepla se potom opět uvolní při kondenzaci vodní páry zpět na vodu, uvolní se tedy na chladných místech, na kterých se vodní pára sráží. Vázání sluneční energie výparem vody (chlazení) na místech s nadbytkem energie a uvolňování sluneční energie na místech chladných při kondenzaci vody je podstatou dokonalé přirozené klimatizace pomocí vody a rostlin. Na pouhém jednom metru čtverečním může činit v létě rozdíl mezi energií vázanou ve vodní páře a energií uvolněnou jako teplo i několik kWh za den. Toky sluneční energie vázané při evapotranspiraci dosahují tedy až několika set wattů na m².

Představa sluneční energie a rostlin je spojena s fotosyntézou a s primární produkcí – tedy s tvorbou biomasy a růstem rostlin. Fotosyntéza však váže jen asi 1% sluneční energie dopadající na rostlinu. Využíváme-li fosilní paliva, využíváme v nich nahromaděnou sluneční energii, která se fotosyntézou vázala účinností asi 1%. Započítáme-li energetické náklady spojené s těžbou, s dopravou a účinnost se kterou spalujeme a teplo případně převádíme, uvědomíme si, že při spalování fosilních paliv využíváme sluneční energii s účinností nanejvýš několika promile. Schéma znázorňující množství sluneční energie přicházející na zemský povrch v mírném pásmu za rok a množství vázané do biomasy je na obrázku č. 3.



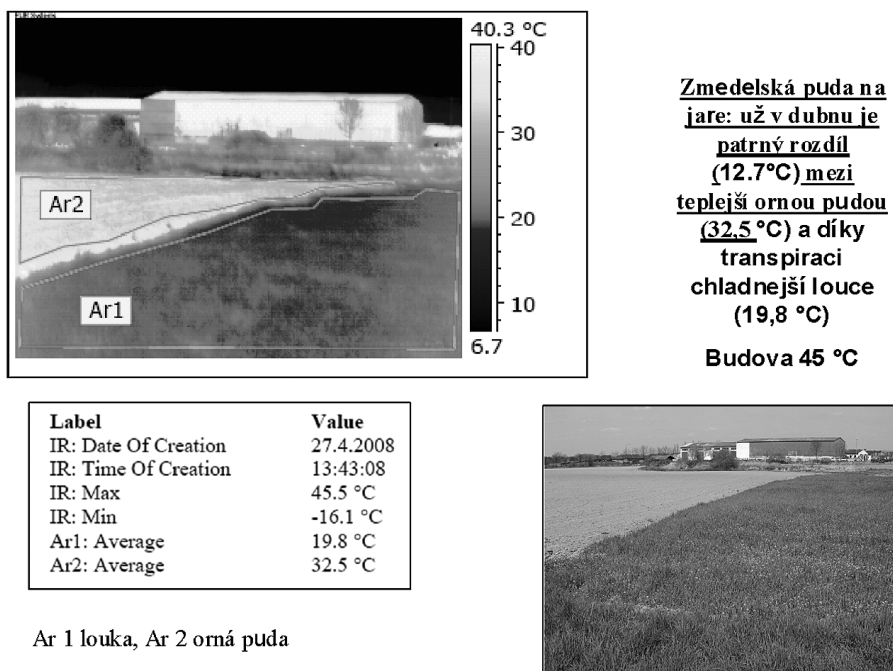
Obr. č. 3 - Schéma znázorňující množství sluneční energie přicházející na zemský povrch v mírném pásmu za rok a množství vázané do biomasy.

V našich zeměpisných šířkách dopadne na zem za rok průměrně **1,1 – 1,2 MWh** sluneční energie. 1,2 MWh (tedy 1200 kWh) odpovídá přibližně energii obsažené ve 240 kg biomasy. Na 20 m² nezastíněné plochy dopadne tedy za rok tolik energie, kolik odpovídá spotřebě náročnější domácnosti včetně otopu (průměrná spotřeba energie v české domácnosti je 20 MWh). V létě dosahují maximální toky sluneční energie až 1000 W/m², to odpovídá výkonu běžného vařiče. V průměrném červnovém dnu dopadne na 1 m² za den 18 - 22 MJ sluneční energie, což odpovídá 5 - 6 kWh.

Dopadá-li sluneční záření na rostlinný porost dostatečně zásobený vodou (les, rákosina, louka, rostoucí plodiny), pak se asi 15 % záření odrazí a převážná část sluneční energie se spotřebuje na výpar vody, menší podíl sluneční energie se uvolní jako zjevné teplo a tok tepla do půdy (5 - 10%).

Vegetace a ekosystémy obecně reagují zpětnovazebně na množství přicházející sluneční energie, tak že tlumí vytváření teplotních rozdílů. S nástupem jara, tedy s růstem příkonu sluneční energie začíná v mírném pásmu vegetační sezóna a rostliny využívají sluneční energii ke tvorbě biomasy a současně převádějí řádově vyšší množství energie evapotranspirací. Na rozvoj porostů je vázán život mnoha dalších forem života včetně bakterií. Rozklad (mineralizace) organických látek může probíhat několikanásobně vyšší rychlostí nežli jejich tvorba fotosyntézou. Rozklad organických látek je provázen uvolňováním energie. Biosféra udržuje v dynamické rovnováze složení atmosféry a podílí se na utváření klimatu – tlumí vytváření teplotních extrémů. Funkci biosféry při utváření klimatu si uvědomíme při srovnání teplotních výkyvů na poušti a v tropickém deštném lese, ležícím v podobném zeměpisném pásmu. Nemusíme chodit až do tropů, stačí porovnat teploty a vlhkosti vzduchu v mírném pásmu na odvodněných plochách (městská zástavba, sklizené pole) s podmínkami v neďalekém lese. Uvědomíme si, že vegetace upravuje klima pro teplokrevné živočichy, aby mohli svoji tělesnou teplotu „doladit“ vlastní termoregulací.

Efekt vegetace na teplotu lze snadno demonstrovat pomocí termovizních snímků. Na obrázku 4 je termovizní snímek louky, zoraného pole a budovy opodál pořízený za slunného dne na konci dubna. Louka má teplotu okolo 20 °C, ornice 32 °C a střecha budovy více než 40 °C.



Obr. č. 4 - Termovizní snímek louky, zoraného pole a budovy pořízený za slunného dne na konci dubna. Louka má teplotu okolo 20 °C, ornice 32 °C a střecha budovy více než 40 °C.

Termovizní snímky zřetelně ukazují úlohu vegetace při tvorbě místního klimatu. Zdůrazňujeme, že nízké teploty vodních ploch a vegetace dobře zásobené vodou jsou působeny výparem vody. Vodní plochy a vlhká vegetace absorbují sluneční záření více nežli odvodněné plochy a přesto mají teploty nižší. Teploty v krajině na velkých plochách lze mapovat pomocí družic, které jsou vybaveny nákladným zařízením na snímání teplot. Detailnější obraz rozložení teplot poskytne termovizní kamera nesená letadlem.

2.3 Biomasa a energetická účinnost její tvorby

Jak vzniká biomasa

Prvním stupněm tvorby biomasy je fotosyntéza. Z oxidu uhličitého, vody a světelné energie vznikají cukry a z nich dále s využitím minerálních látek se postupně vytváří tělo rostliny. Přeměna (redukce) oxidu uhličitého na cukry vyžaduje:

- a) energii a tu dodává sluneční záření
- b) vodík, který vzniká rozkladem vody za uvolnění kyslíku.

Tvorba rostlinné biomasy fotosyntézou se nazývá primární produkcí (je to první, základní krok tvorby organických látek). Rostlinná biomasa je dále využívána (požírána, rozkládána) dalšími organismy – vytváří se biomasa živočišná, biomasa bakteriální atp.

Z energetického obsahu biomasy, která přirostla za dané období, můžeme přibližně určit efektivitu využití sluneční energie při tvorbě biomasy v procesech fotosyntézy. Obsah energie v biomase se určuje v kalorimetru rutinně jako spalné teplo.

Z praktického hlediska využití zemědělských plodin má největší význam množství sklizené biomasy a její energetický obsah. Pro běžné úvahy lze uvažovat s produkcí sušiny až 1 kg.m⁻² za rok, tedy až 10 tun sušiny/ha. Pokud převažuje v biomase celulóza a škrob, je její energetický obsah roven 16 – 18 MJ/kg, u olejnatých semen dosahuje průměrně 26 MJ/kg. Sušinou se rozumí hmotnost dosažená vysoušením vzorku do konstantní váhy při cca 90 °C.

Při úvahách o energetické bilanci porostů si můžeme též uvědomit omezenost biomasy jako zdroje energie. Uvažuje se o využívání energetických plodin, pěstovaných jako alternativní zdroj energie. Kolik energie se naváže fotosyntézou do biomasy - dřeva, slámy, oleje? **Na jednom metru čtverečním naroste za rok až 1 kg biomasy (sušiny), která obsahuje zhruba 14 – 18 MJ (4 – 5 kWh).** Dlouhodobá sklizeň z lučních porostů v podhorských oblastech dosahuje hodnot 0,4kg.m⁻². Od tohoto množství je nutné odečíst ještě energii dodatkovou, nutnou na kultivaci, sklizeň, transport a úpravu před spálením. Nutno je též uvažovat účinnost spalování. Nesporně, biomasa je zásadním obnovitelným zdrojem energie. Při jejím využívání je ovšem nezbytné uvažovat její energetický obsah (množství vázané sluneční energie) a množství dodatkové energie, to jest energie, kterou je nutno vložit na pěstování, sklizeň a zpracování biomasy. Celková energetická bilance by měla být pozitivní, to jest – energetický obsah biomasy by měl být vyšší nežli množství energie dodatkové, vkládané člověkem.

V mírném pásmu je celoroční bilance využití sluneční energie do biomasy přibližně 0,5%: na povrch země v mírném pásmu přichází za rok 950 – 1100 kWh.m⁻² (tj. 3,4 – 3,9 GJ.m⁻² za rok). Počítáme-li celoroční produkci sušiny 1 kg.m⁻² (energetický obsah 1 kg suché biomasy je okolo 5 kWh = 18 MJ). Reálná dlouhodobá sklizeň je ovšem poloviční.

Podrobnou studii energetické bilance pěti zemědělských farem na Novohradsku provedli Plich a kol. (2008) a Seják a kol. (2010). Farmy se lišily intenzitou zemědělské výroby. Autoři kvantifiko-

vali jednotlivé vstupy a výstupy energetických a látkových toků. Pro jednotlivé druhy pěstovaných plodin zjistili druh a počet provedených pracovních operací, výsevek, spotřebu minerálních hnojiv, spotřebované množství chemických přípravků, výnosy hlavního a vedlejšího produktu. Náklady energetické bilance rostlinné výroby zahrnují energii lidské práce, fosilní energii, elektrickou energii, energii ve strojích a náradí, energii výrobků chemického průmyslu (hnojiva, chemické postřiky, energii v osivech). Energie ve strojích se počítala z energetických nákladů k produkci surovin, na vlastní výrobu, transport na farmu a údržbu. Počítal se energetický náklad na jeden rok a doba životnosti stroje byla stanovena na 10 let. Autoři zpracovali bilanci rostlinné i živočišné výroby. Nejvýznamnějšími energetickými náklady byly „energie ve strojích“ (např. 65% z celkových energetických nákladů) a ve spotřebovaných fosilních palivech (např. 33%). Pokud se používají hnojiva a pesticidy, dosahuje jejich energetický náklad hodnot několika desítek %. V rostlinné výrobě dosahoval poměr energetický výnos (produkce) / energetický náklad hodnot od 1,7 do 27. Čistý energetický výnos, tj. obsah energie ve sklizené biomase minus vložené energetické náklady byl v rozmezí 26 GJ/ha až 49 GJ/ha. V rostlinné výrobě se tedy za rok z jednoho metru čtverečního získává 2,6MJ až 4,9MJ (0,7kWh až 1,36 kWh). Čistý zisk využití sluneční energie v rostlinné výrobě se tedy pohybuje okolo jedné promile.

Zemědělci ovšem ovlivňují svým hospodařením v krajině o mnoho řádů vyšší energetické toky. Určují, zda se sluneční energie přemění ve zjevné teplo nebo zda se bude vázat do skupenského tepla vody při evapotranspiraci.

Evapotranspirace

Evapotranspirace porostu (E) je úhrnné množství vody vypařené na určitém místě z půdního povrchu (evaporace) a vydané průduchy a povrchem rostlin (transpirace). E se vyjadřuje v litrech vody na metr čtvereční nebo v mm, podobně jako úhrn srážek. Množství vypařené vody ovlivňují dvě skupiny faktorů:

- vlastnosti a stav porostu (stáří porostu, pokryvnost listoví, schopnost vodivých pletiv převádět vodu od kořenů do listů, vodivost a otevřenost průduchů),
- vnější prostředí obklopující vegetaci (množství energie dodané pro výpar vody, odvádění vodních par od výparného povrchu do vyšších vrstev vzduchu, množství vody přístupné rostlinám v půdě).

Evapotranspiraci lze považovat za nejmohutnější proces přeměny sluneční energie na pevnině. Zatímco fotosyntézou se přemění nejvýše 1% dopadající energie slunečního záření, přeměnou vody v páru, tedy evapotranspirací se může přeměňovat v porostech dobře zásobených vodou více než 75% dopadající sluneční energie. Je zřejmé, že hospodařením s vegetací a s vodou člověk účinně mění způsob přeměny sluneční energie. Pokud se totiž sluneční energie nespotřebuje na přeměnu skupenství vody v páru, mění se v teplo.

Stanovení rychlosti evapotranspirace je náročné, snažíme se totiž zachytit děje v dynamickém nelineárním systému.

Kritéria udržitelného hospodaření v krajině

Udržitelné hospodaření v krajině vyžaduje, aby voda a látky (živiny a bazické kationy) byly účinně recyklovány v ekosystémech tak, aby se minimalizovaly ztráty z povrchové vrstvy půdy. Je zřejmé, že ztráty látek z krajiny jsou spojeny s odtokem vody. Rozdělení toků vody mezi evapotranspiraci

(není spojena se ztrátami látek), průsak do podzemních vod a do povrchových vod rozhoduje o rozsahu ztrát rozpuštěných látek z daného povodí. Průzkum intenzity ztrát látek z krajiny potvrdil aktivní úlohu vegetačního pokryvu v tomto procesu. Monitoring plošných ztrát látek v zemědělských oblastech Německa prokázal průměrný rozsah ztrát 1 – 1,5 tuny rozpuštěných látek z hektaru za rok, což je rychlost 50 – 100x vyšší ve srovnání s klimaxovými lesy. Vysoké ztráty látek soustavně snižují úrodnost půd a jen obtížně lze kompenzovat dodávkou hnojiv. Hlavním kritériem udržitelnosti hospodaření v krajině jsou nízké ztráty rozpuštěných látek z povodí. Toho lze dosáhnout recyklací vody v povodí. Recyklace vody je podmíněna obnovou krátkého oběhu vody, tedy podporou evapotranspirace. Plodiny jsou schopny vypařovat vodu intenzivně ale vodní pára odchází zpravidla z povodí, nevrací se v krátkém oběhu. Výzkum by se měl zaměřit na řešení otázky, jak uzavírat oběh vody v zemědělské krajině a obnovit tak disipativní procesy sluneční energie v krajině. Zásadní úlohu lesa a strukturované vegetace v oběhu vody popisují Makarieva, Gorshkov (2007).

Ripl (1995, 2003) navrhl dvě kritéria pro posuzování funkčnosti krajiny a udržitelného hospodaření:

- a) kritérium energetické tj. schopnost tlumit výkyvy teplot a udržovat relativně nízké teploty i při vysokém příkonu sluneční energie,
- b) kritérium chemické, tj. ztráty (odtoky) rozpuštěných látek odtékajících s vodou z povodí. Funkční krajina má vysokou hrubou produkci a nízké ztráty látek – tedy vysoký stupeň recyklace.

Hodnoty hlavních toků sluneční energie v kulturní krajině

Hlavní toky přeměn sluneční energie v porostech a ekosystémech lze měřit přímo. Reálné rozsahy hodnot těchto toků lze odvodit z denních nebo sezónních množství vypařené vody evapotranspirací, množství vytvořené biomasy (primární produkce) a množství rozložené biomasy v půdě.

V přirozených porostech za optimálních podmínek v mírném pásmu lze pro přibližná stanovení počítat s roční produkcí sušiny do 1 kg.m⁻² a průměrnou denní primární produkcí do 10 g.m⁻². Rychlost fotosyntézy za optimálních podmínek vyjádřená v energetických jednotkách může dosahovat hodnot několika W.m⁻². Produkci 10 g.m⁻².den⁻¹ odpovídá průměrný energetický tok 4 W.m⁻².

Rozklad organických látek v půdě (mineralizace) vyjádřený v energetických jednotkách může nabývat hodnot až několikrát vyšších, než je rychlost tvorby a akumulace organických látek v procesu primární produkce: několik W.m⁻² až desítky W.m⁻².

Na evapotranspiraci se spotřebovává 400 W.m⁻² i více, zatímco na suché ploše se veškerá sluneční energie uvolňuje jako zjevné teplo. Rozdíl v distribuci sluneční energie na odvodněné ploše a ve vegetaci dobře zásobené vodou je ve slunném dnu v rozsahu několika set W.m⁻². Evapotranspirace má dvojnásobný klimatizační efekt – ochlazuje výparem a ohřívá kondenzací. Ochlazují se místa s nadbytkem energie a ohřívají se jen místa chladná, kde dochází ke kondenzaci.

Tok tepla do půdy může dosahovat hodnot několika W.m⁻² až desítek W.m⁻². Tok tepla do půdy se snižuje s vysycháním půdy. Ve slunných dnech odráží betonová plocha až 200 W.m⁻², zatímco hladina rybníka odráží nanejvýš 50 W.m⁻². Odraz různých typů vegetace se příliš neliší a dosahuje hodnot okolo 150 W.m⁻². Relativně méně odráží vegetace po většinu roku dobře zásobená vodou.

Kvantitativní údaje o desertifikaci, odvodnění a odlesnění

Podle údajů FAO (*Food Agriculture Organisation*) ztrácí planeta Země ročně na 200 000 km² pro-

dukční zemědělské půdy následkem prohlubujícího se nedostatku vody. Z toho 60 000 km² podléhá ročně desertifikaci, tedy degradaci půdy na poušť. Podle údajů FAO 30 - 40 % plochy kontinentů trpí nedostatkem vody (6.45 x 10⁷ km²). Přinejmenším jedna třetina plochy kontinentů není schopna tlumit denní puls sluneční energie a tlumit tepelné potenciály mezi místy.

V rozvinutých ekonomikách pokračuje „betonování krajiny“, například v Německu mizí pod betonem, asfaltem a nepropustnou dlažbou denně 1 km². Likvidace zejména malých mokřadů vede k vysychání krajiny, plochy vedené jako les ztrácejí ekosystémové funkce pro nedostatek vody. Ztráta hlavních ekosystémových funkcí se neevduje. Nejvhodnějším nástrojem pro monitoring ekosystémových funkcí se jeví techniky dálkového průzkumu. Využitelné satelitní snímky existují od osmdesátých let a umožňují tedy hodnotit vývoj v čase.

3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Obnovitelné zdroje energie jsou přírodní zdroje, které se obnovují v krátkém čase ve srovnání se zdroji neobnovitelnými jako je uhlí, nafta a zemní plyn.

K obnovitelným zdrojům energie v našich podmínkách patří: přímá energie slunečního záření, energie vodních toků, energie větru, energie vnějšího prostředí, energie biomasy a v malé míře energie termálních vod.

3.1 Technické možnosti přímého využití sluneční energie – systémový přístup

Možnosti přímého využití energie Slunce jsou velmi široké a člověk tuto energii využívá odnepaměti. Z dnešního pohledu lze využívat sluneční energii prakticky dvěma způsoby: pasivně a aktivně. Mezi první případy patří celková dispozice stavby, umístění oken, dveří, představené transparentní konstrukce, využívající skleníkového efektu jako například skleníky, zimní zahrady, světlíky. Skleníkový efekt je jev, který je ve „sluneční“ literatuře velice často zmiňován a proto si jej přiblížíme podrobněji. Většina energie slunečního záření dopadá na libovolnou a tedy i zasklenou plochu v krátkovlnné viditelné oblasti spektra, ve které sklo záření propouští. Energie slunečního záření se po dopadu v interiéru na podlaze, nábytku či jiných předmětech přemění na teplo, čímž se interiér a každý předmět v něm ohřeje a vyzařuje v dlouhovlnné oblasti cca 10 μm.

Elektromagnetické záření s vlnami této délky však sklem neprochází viz. obr. č.3 a proto podstatná část energie zůstává uvnitř. Tento jev je nazýván „skleníkovým efektem“ a je využíván jak v pasivních tak i aktivních systémech fototermální přeměny. Jeho pomocí se zvyšuje účinnost zaskleného kolektoru oproti otevřenému absorbéru. O ostatních možnostech pasivního využití energie Slunce pojednává samostatná kapitola.

K aktivnímu využívání sluneční energie slouží zařízení, které nazýváme obecně kolektory. Na trhu je výrobci nabízena celá řada kolektorů, které se dělí podle způsobu přeměny slunečního záření na dvě základní skupiny - fotovoltaické, kde výsledkem přeměny je elektrická energie a fototermální, kde výsledkem je teplo. Pro přehlednost uvádíme možnosti využití sluneční energie a různá kritéria, podle kterých jednotlivé kolektory lze rozdělit:

1) Pasivní využívání sluneční energie

- dispozice, orientace stavby
- transparentní stěny, zimní zahrady
- transparentní střechy
- skleníky
- akumulární stěny a podlahy

2) Kombinované využívání – lineární rastrové čočky

3) Aktivní využívání – sluneční kolektory – kriteria rozdělení

- podle optických charakteristik
- koncentrační - čočkové - lineární
- zrcadlové - bodové - bez koncentrace

- podle způsobu přeměny

| | | účinnost přeměny |
|-----------------|-------------------------|------------------|
| - fotovoltaické | - monokrystaly | 10 – 18% |
| | - polykrystaly | 10 - 18% |
| | - amorfní jednovrstevné | 4 – 8% |
| | - vícevrstevné | až 35% |

- fototermální - vzduchové - selektivní - otevřené - vakuované
- kapalinové - neselektivní - kryté - nevakuované

a) podle oblasti použití

transparentní - 1. lineární Fresnelovy čočky

neprůhledné - 1. na sezónní použití

(bazény, sprchy) – plastové absorbéry

- kolektory bez selektivní vrstvy

- 2. na celoroční využití

(teplá užitková voda, topení

technologické teplo ($t > 80$ °C)

- kolektory se selektivní vrstvou

- vakuované kolektory

Tento způsob rozdělení zařízení, využívajících energii Slunce není příliš zavedený, ale podle mého přesvědčení nejlépe vystihuje jejich technické principy a užitnou hodnotu. Každý typ kolektoru má svou konstrukci, technickými parametry a z toho plynoucími užitečnými vlastnostmi přesně vymezenou oblast použití. Toho by měl dbát každý projektant a měl by upřednostnit technické řešení před, byť lákavými, obchodními zájmy.

Pro přehled uvádím typy kolektorů a orientačně i oblast jejich využití:

- Pro sezónní ohřev vody na chatách, zahradách a bazénech, kde ohříváme vodu do teploty 40°C použijeme plastový kolektor, nebo kolektor bez selektivní vrstvy, neboť není velký teplotní rozdíl mezi absorberem a jeho okolím.
- Pokud požadujeme celoroční odběr tepla, je dnes již nutností použít kolektor se selektivní vrstvou, případně kolektor vakuovaný a to plochý či trubcový. V zimním období, kdy teploty klesají hluboko pod bod mrazu je selektivní vrstva, která minimalizuje ztráty zpětným vyzařováním, nezbytná k tomu abychom z kolektoru dokázali získat alespoň nějakou energii v období, kdy ji nejvíce potřebujeme.
- Pokud chceme přitápět objekt v přechodném a zimním období, můžeme také použít teplovzdušný fasádový kolektor. Kolektor se umísťuje svisle na fasádu s jižní orientací, proto nejúčinněji pracuje především v zimním období, kdy je slunce nízko nad obzorem. Zařízení je vybaveno ventilátorem, který nasává studený vzduch od podlahy, ohřeje jej a vrátí zpět do místnosti.
- Fotovoltaické systémy jsou u nás ekonomicky opodstatněny tam, kde je objekt vzdálen od rozvodné sítě a nebo jako zdroj el. proudu pro zálohovací systémy, u kterých požadujeme nezávislost na rozvodné síti (bezpečnostní systémy, sledovací či regulační systémy). Další využití je v dobíječkách akumulátorů a jako zdroje u spotřebičů malého výkonu.
- Pokud požadujeme dostatečné přirozené osvětlení pod střešními či za fasádními konstrukcemi, nabízí se využití optických rastrů – původního českého systému pro pasivní a kombinované využití sluneční energie.

3.2 Pasivní využití sluneční energie - solární architektura

Pojem „pasivní využití“

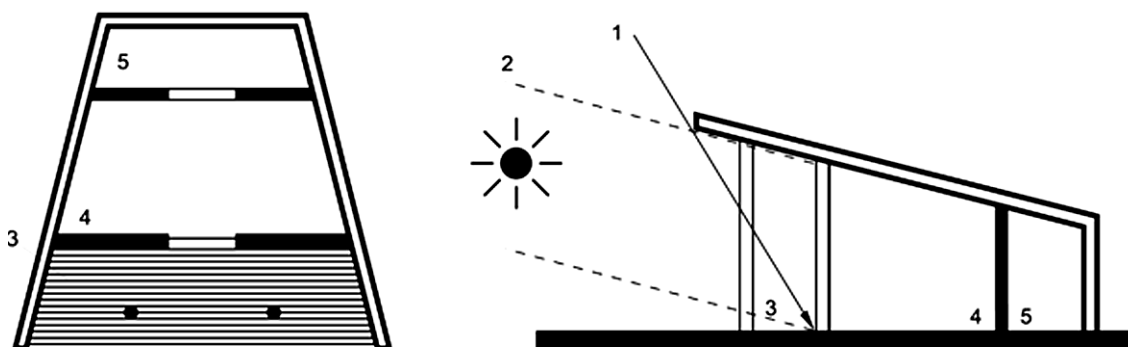
Investoři, projektanti i stavebníci dávají při výstavbě budov přednost nejrůznějším architektonickým stylům a používaným materiálům. Domnívám se, že jednou z nejdůležitějších podmínek pro výstavbu by měla být preference úspor všech forem energie.

Je zapotřebí ve větším měřítku využívat netradiční zdroje energie. Rozhodnete-li se využít pro Vaší stavbu sluneční energii, nebo teplo obsažené v půdě, ve vodě či ve vzduchu jsou k dispozici technická zařízení, která v daných podmínkách využití těchto zdrojů umožní. Pro návrh a realizaci jsou vypracovány zásady, je možné určit typy zařízení, cenu, životnost a tedy i ekonomickou návratnost. Když uvedu nejznámější zařízení - sluneční kolektory, je všem princip tohoto zařízení znám. Kolektory lze umístit na každé stavbě, která má volnou plochu na jižní straně průčelí. To ale odbíhám od tématu - mojí úlohou je upozornit na fenomen, který se již po staletí uplatňuje u všech dobře postavených domů: porozumět výpovědi místa, kde dům stojí. Stavbu lze navrhnout se specifickou orientací ke světovým stranám, s určitou vnitřní dispozicí, s naplánovanými velikostmi oken pro místnosti s jinými funkcemi či s použitím materiálů podle orientace a účelu místnosti. Taková stavba se pak sama stává určitým slunečním kolektorem a také zásobárnou tepla, dochází k úspoře energií, nutných k jejímu používání. O takové stavbě lze říci, že pasivně využívá sluneční energii.

Podstata pasivního využití sluneční energie

V každé zeměpisné oblasti jsou jiné podmínky a tedy jiné zásady využití. Jinak bude vypadat dům na rovníku, kde je slunce nadbytek a stavba v našich podmínkách. Samozřejmě, že uváděná pravidla platí pro Čechy, kde s výjimkou několika letních dnů by každý přivítal sluníčka trochu víc.

Podstata je jednoduchá. Transparentní plochou, tj. okny, prosklenou stěnou, skleněnou střechou vniká do stavby sluneční energie ve formě světla. Po dopadu na předměty, nebo odrazu a dalším dopadu na další předměty se sluneční záření mění na teplo. Toto teplo, jinak řečeno dlouhovlnné záření však již hůře prochází zpět stejnými transparentními plochami, ať je jejich materiálem sklo nebo polykarbonát. Tak většina slunečního záření, které prošlo do interiéru ve stavbě zůstává. Samozřejmě, že tento princip je znám již od starověku, ale problémy spojené s ovládním množství energie, které do stavby pustíme a dobré tepelně izolační vlastnosti moderních dvouskel, či trojskel dávají dnes větší možnosti využití.



Dům s přímým využitím sluneční energie - tzv. Sokratův dům
1. - letní slunce, 2. - zimní slunce, 3. - terasa, 4. - obytný prostor, 5. - sklad

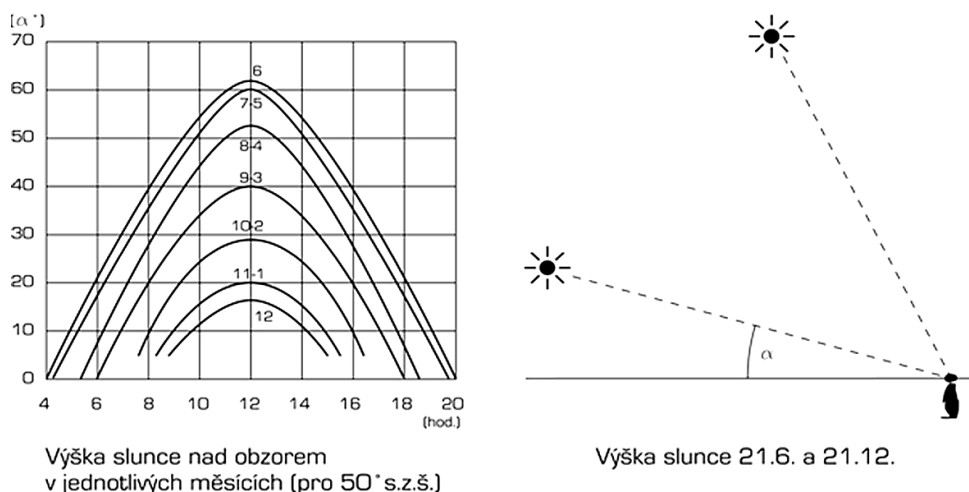
Obr. č. 5 – Sokratův dům

Domy využívající sluneční energii

Historickým příkladem a nejjednodušší stavbou se označuje Sokratův dům. Na tomto schématu lze objasnit nejdůležitější zásady pasivního využití sluneční energie.

Terasou a hlavní místností je dům otočen k jihu. Na straně největšího chladu – na severu jsou místnosti, které nevyžadují plné vytápění. To je hlavní zásada platná pro dispoziční uspořádání domů s pasivním využitím sluneční energie. Obytné prostory orientované co nejvíce k jihu, s velkými transparentními plochami, dobře prosluněné, přímo vytápěné sluncem, kdežto podružné místnosti s minimalizovanými okny se umísťují na neosluněné fasády. Ostatní místnosti orientované na východ, či západ vybavit tak velkými okny, aby byly dodrženy hygienické požadavky na proslunění místností. Transparentní plochy (okna) na méně osluněných fasádách totiž nevykazují podstatné zisky ze slunečního záření a mají větší tepelné ztráty než obvodové zdivo budovy.

Jedním z největších problémů pasivního využití sluneční energie je jeho obtížná regulace. Množství slunečního záření, které má pronikat do vnitřních prostor stavby v letním by mělo být omezeno, aby nedocházelo k nadměrnému přehřátí interieru. Naopak maximum slunce se musí dostat do stavby v ostatním období. Lze využít různé polohy slunce na obloze v průběhu roku. Uvedený obrázek č. 6 ukazuje, díváme-li se k jihu, kde se v průběhu dne v jednotlivých měsících roku slunce nachází.

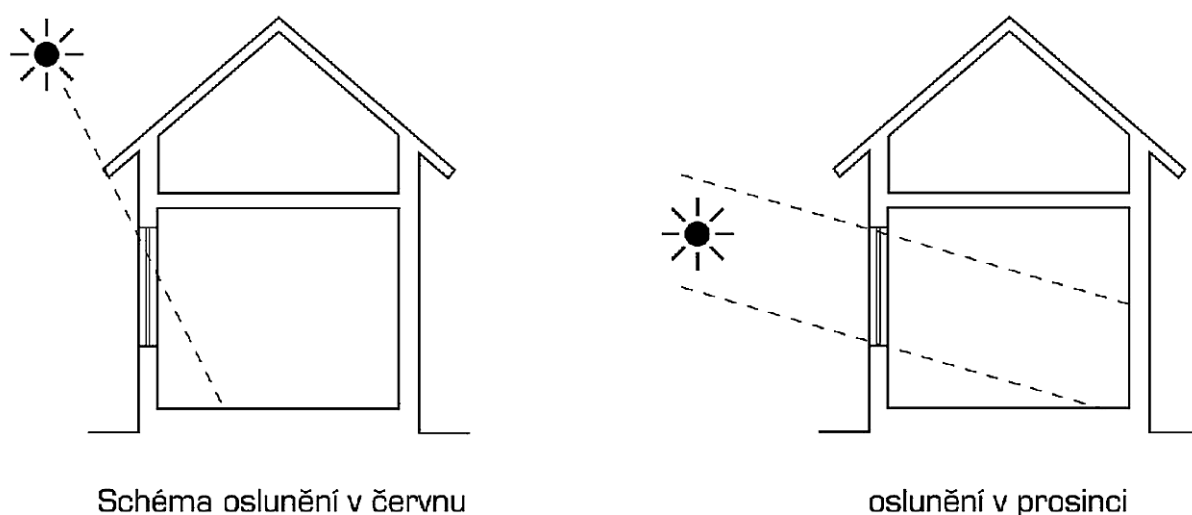


Obr. č. 6 – Umístění Slunce v průběhu roku

Výška slunce na obloze umožňuje jeho zastínění v letním období. Na vedlejším řezu Sokratova domu je patrný tento záměr. V zimním období je naopak slunce nízko nad horizontem a jeho paprsky mohou proniknout hluboko do vnitřních prostor domu. Uplatnění této zásady na jednoduché střeše rodinného domku ukazuje další obrázek.

Pro zastínění stavby v době přemíry sluneční energie lze použít vnějších žaluzií, speciálních elektrických rolet a dalších technických vymožeností.

Další zásadou pro pasivní využití slunce je na první pohled jednoduchý požadavek na co největší a nejdelší oslunění domu, respektive jižních oken a ostatních prosklených ploch. V praxi se však vyskytne řada staveb a konkrétních stavenišť, které v tomto bodě nebudou zcela vyhovující. Podíváme-li se zpět na dráhu slunce po obloze na výše uvedený obrázek pro měsíc prosinec. Pro dobu, kdy bychom potřebovali, aby co nejvíce sluneční energie vnikalo do stavby. V poledne je slunce pouze 16° nad horizontem a je viditelné v podstatě od jihovýchodu k jihozápadu. Stačí mít z jižní strany vyšší sousední stavbu, či relativně nízký pahorek a slunce nám ve vytápění v prosinci nepomůže. Je proto důležité, aby z jižní strany nebyla stavba stíněna ani sousedy, ani vzrostlou zelení. Zejména tuto skutečnost si řada stavebníků neuvědomí. Možnost nepříznivého oslunění v zimním období platí i pro ostatní systémy využití sluneční energie.



Obr. č. 7 – Schéma oslunění domu v různých měsících

Pro dobré podmínky je nutné zajistit v pobytových prostorách vyrovnanou teplotu. Pro pasivní využití sluneční energie je nutné, aby sluneční světlo, které se dostane do interiéru bylo co nejrychleji přeměněno v teplo a uschováno ve hmotě materiálu. Záleží proto na barvě povrchů interiéru a jejich pohltivosti. Nejsou proto vhodné převažující bílé materiály, které světlo co nejvíce odrážejí. Převažující materiály musí být hmotné, aby zajistily dobrou akumulaci dopadající energie.

Použití zásad pasivního využití sluneční energie zásadním způsobem ovlivňuje orientaci stavby na pozemku, diktuje provozně dispoziční uspořádání domu, omezuje širokou škálu materiálů vnitřních povrchů. Asi také proto se o zásadách pasivního využití méně hovoří. Koncept se dostává do rozporu s představami stavebníka, do rozporu s všeobecným názorem na dnešní architekturu.

3.3 Využití sluneční energie v architektuře

Tradiční energetické zdroje nejsou nevyčerpatelné a je jasné, že využití solární energie je nejčistší alternativou. Je to energie, která je nám bezplatně dána a nepodléhá vrtochům člověka. Měli bychom k nové výstavbě přistupovat také s tímto zřetelem. I když v naší zemi není dostatek slunečního záření v zimním období. Pro orientaci - v lednu v Praze dopadne na 1m² asi 20 kWh/měsíc, v červnu je to osminásobek asi 160 kWh/měsíc na 1m². Z toho vyplývá, že jsou v současné době výhodná solární zařízení, která plně slouží v letním období. Nejčastěji je to ohřev teplé užitkové vody. Technicky a zejména ekonomicky je velmi náročné uskladnění letního přebytku solární energie na zimní období. Pro běžné stavby nelze tuto dlouhodobou akumulaci uvažovat. Doporučuje se použít sluneční energii jako doplňkový zdroj, který za příznivých klimatických podmínek šetří ostatní energii. Na příhodném staveništi pak lze realizovat stavbu se zásadami pasivního využití sluneční energie. Vhodná orientace budovy ke světovým stranám a určité dispoziční uspořádání stavbu nezdražuje. Nutností jsou ale prvky, které regulují množství slunečního záření, které projde jižními transparentními plochami. Nejlépe vyhovují venkovní nastavitelné žaluzie.

U objektů občanské výstavby jako jsou rodinné a bytové domy velká část z celkové roční energetické bilance připadne na přípravu teplé užitkové vody a vytápění. Obě tyto položky je možné vhodným návrhem stavby ovlivnit. Dobré tepelné izolace domu jsou s pohledem do budoucnosti nutností. I když se kvalita oken stále zlepšuje, je okno jako tepelná izolace stále nejslabším článkem budovy. Minimalizace tepelných ztrát zmenšováním oken a ostatních transparentních ploch, není řešením. Člověk potřebuje spojení s okolím, s přírodou, s prostředím, kde se cítí dobře. Pak se nabízí dům stavěný podle zásad pasivního využití sluneční energie doplněný například o plochy kolektorů pro ohřev teplé vody.

Je jednoznačné, že nelze stavět domy pouze podle jedné zásady. I když dům podle Sokratova schématu byl také postaven a to architektem Lamberem v americkém Arkansasu. Jedná se o oblast na 35 rovnoběžce s odlišným klimatem. Architektura je souborem technických sociálních i estetických požadavků, které musí tvořit jednotný celek.

Prvky pasivního využití sluneční energie jsou používány již dlouho. Ale zejména v třicátých letech tohoto století se blíže konkretizují, začínají se stavět po celém světě. Známou oblastí, kde jsou klimatické podmínky ještě horší než u nás je Švédsko. V Praze bychom mohli jmenovat funkcionalistický dům postavený v roce 1937 na náměstí Svobody v Dejvicích. Tento obytný dům pro velké prosklené plochy na fasádách dostal také přezdívku: Skleněný palác či zjednodušeně Skleňák. Architekt Richard Podzemný, který stavbu projektoval, použil prvky pasivního využití sluneční energie včetně představených zasklených lodžii. Realizace posledních let nejsou již tak známé. Není

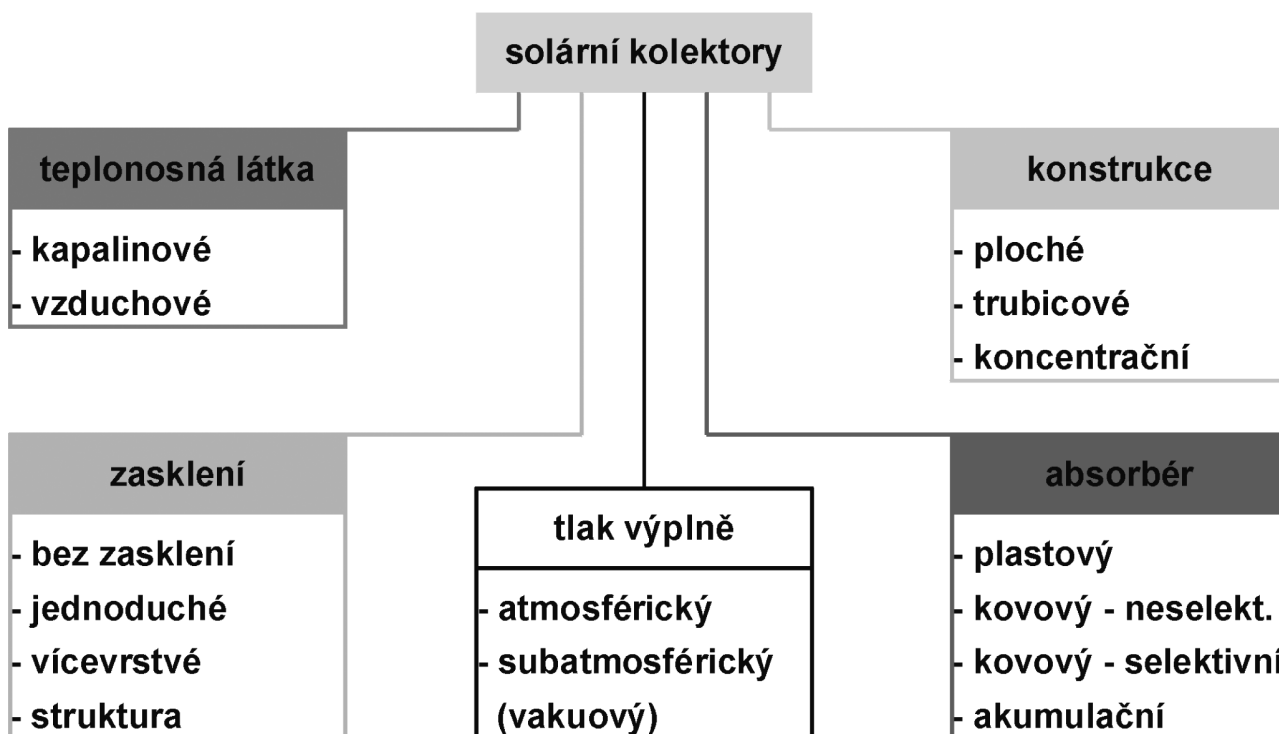
dostupný žádný přehled o těchto stavbách u nás. Byl vyprojektován a nasimulován rodinný dům se zimní zahradou na jižní straně jako příklad pasivního využití sluneční energie. Jednoduchým otevíráním oken a vnitřních dělících prvků lze zajistit přehřívání obytných prostor v přechodném období, propojení celého domu v létě, či zmenšení vytápěného objemu oddělením zimní zahrady v zimě, kde se sníží teplota.

4 SYSTÉMY, VYUŽÍVAJÍCÍ FOTOTERMÁLNÍ KAPALINOVÉ KOLEKTORY

Aktivní solární soustavy mají ve světě nezastupitelné místo mezi alternativními (obnovitelnými) zdroji energie, a to nejen v oblastech s vysokou celoroční poměrnou dobou slunečního svitu, ale i v severských zemích jako je Švédsko a Finsko, tedy v zemích s menším ozářením a poměrnou dobou slunečního svitu než má Česká republika.

4.1 Kolektory slunečního záření

Na efektivní provoz solární soustavy má rozhodující vliv výběr typu kolektoru vhodného pro danou aplikaci. Úkolem kolektoru je zachytit sluneční energii a s co nejmenšími ztrátami jí předat teplotonosné látce.

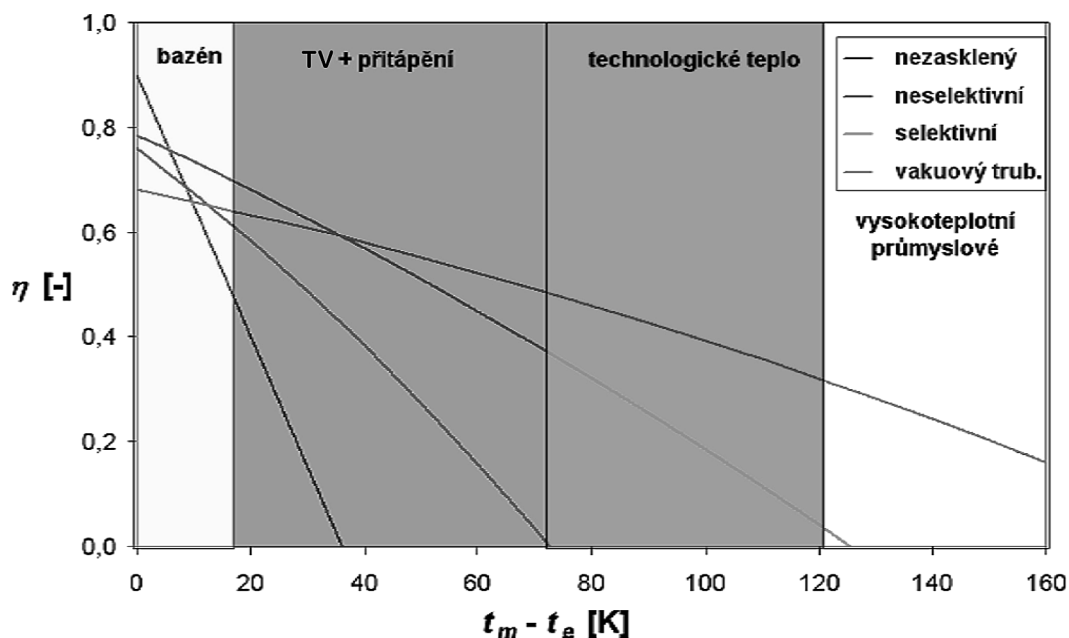


Obr. č. 8 – Základní rozdělení kolektorů slunečního záření

V současnosti se u nás i ve světě vyrábí několik typů kapalinových kolektorů slunečního záření. Během jejich vývoje došlo k celkovému sjednocení koncepce a jednotlivé typy se dnes liší jen v konstrukčních detailech a použitých materiálech. V České republice na trhu převládají kolektory kapalinové, které lze rozdělit následovně:

- vakuové trubcové (přímo protékané teplonosnou kapalinou nebo s tepelnými trubnicemi)
- vakuové ploché
- ploché zasklené
- ploché kolektory bez transparentního krytu (převážně plastové absorbéry)

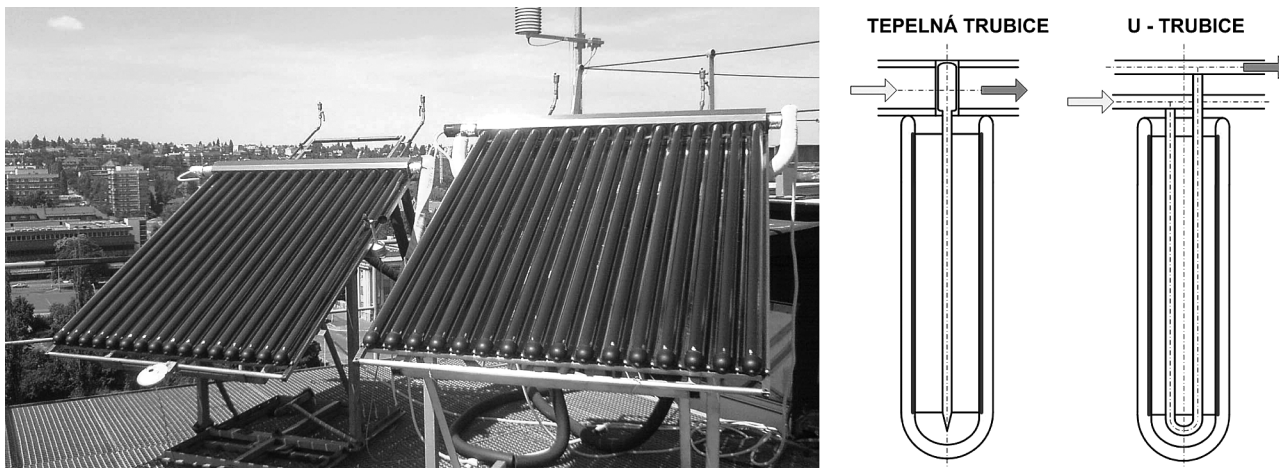
Výše uvedené typy jsou seřazeny podle jejich energetické účinnosti, tak jak je uváděno v literatuře nebo aktuálněji ve firemních podkladech.



Obr. č. 9 – Účinnosti jednotlivých typů kolektorů v závislosti na rozdílu střední teploty kolektoru a okolí

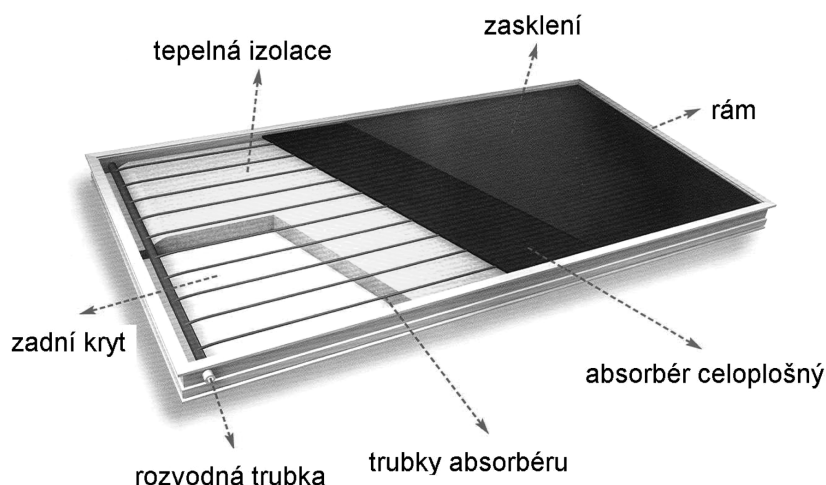
4.2 Oblasti vhodného použití jednotlivých typů kolektorů

a) **Vakuové trubcové kolektory** jsou kolektory s vysokou účinností zejména v zimním období. To je dáno podtlakem (vakuum) uvnitř trubice. Tím jsou téměř eliminovány tepelné ztráty konvekcí. Výhodou přímo protékaných trubcových kolektorů (U-trubice) je variabilita jejich umístění. Ty mohou být umístěny i ve vodorovné poloze, přičemž natočením trubice s absorbérem se docílí optimální orientace vůči dopadajícím paprskům slunečního záření. Vakuové trubcové kolektory s tepelnými trubnicemi musí být instalovány se sklonem alespoň 25° (může se lišit podle typu a výrobce), tak aby byla zajištěna jejich funkčnost. Jejich nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady a nemožnost obnovit vakuum uvnitř trubice. Vakuové trubcové kolektory jsou vhodné pouze pro vysokoteplotní využití (nad 80°C) nebo do extrémních klimatických podmínek například na horských chatách, kde však mohou nastat problémy s oddáváním sněhu z kolektorů, energetický zisk je podstatně snížen a výsledný efekt je nižší získaná energie než z plochých selektivních kolektorů.



Obr. č. 10 - Vakuové trubicové kolektory

- b) Ploché vakuové kolektory** jsou jedním z nejmodernějších výrobků v oblasti solární techniky. Spojují v sobě výhody trubkových vakuových kolektorů (nízké tepelné ztráty konvekcí do okolí) a plochých zasklených kolektorů se selektivní vrstvou (nižší pořizovací náklady při zachování vysoké účinnosti, vyšší optická účinnost). Jedná se o technický i cenový kompromis mezi vakuovými a plochými kolektory, který je v blízké budoucnosti předurčen k masovému využití. Jejich nespornou výhodou je možnost kdykoliv obnovit vakuum uvnitř kolektorů připojením na vývěvu přes přírubovou spojku uprostřed kolektoru. Použití těchto kolektorů je obdobné jako u předcházejícího typu.
- c) Ploché kolektory** pro celoroční použití. Tyto kolektory v současnosti představují nejrozšířenější typ instalovaných kolektorů. Jejich pořizovací náklady jsou oproti vakuovým kolektorům zhruba poloviční až třetinové. Nevýhodou oproti vakuovým kolektorům jsou větší tepelné ztráty konvekcí a nebezpečí kondenzace vodní páry uvnitř kolektoru, která v konečném důsledku snižuje účinnost celého systému. V dnešní době je většina profesionálně vyráběných kolektorů opatřena spektrálně selektivní absorpční vrstvou. Selektivní vrstva podstatně snižuje tepelné ztráty sáláním z povrchu absorbéru (o 75 , 90%). Její princip spočívá ve velké pohltivosti α (0,86 , 0,92) pro krátkovlnné sluneční záření při malé zářivosti ϵ (0,08 , 0,12) pro dlouhovlnné tepelné záření. Kritériem pro posuzování selektivních vrstev je potom tzv. „selektivní poměr“ α/ϵ . Tento typ kolektoru je nejběžněji používán na ohřev teplé užitkové vody, celoroční ohřev bazénové vody nebo na přitápění.



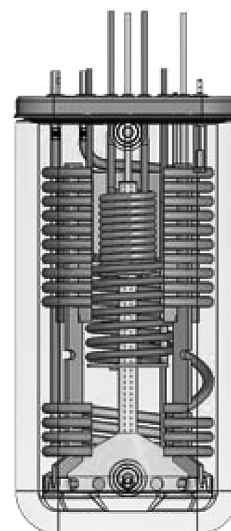
Obr. č. 11 - Konstrukce plochého kapalinového kolektoru

d) Plochý kolektor bez transparentního krytu (převážně plastový absorbér). Jsou určeny do nízkoteplotních soustav na sezónní využití sluneční energie, kdy není příliš velký rozdíl mezi teplotou ohřívané látky a okolním vzduchem. Jedná se především o systémy jednookruhové, kdy kolektorem protéká přímo ohřívána voda. Výhodou je především jednoduchost a nižší pořizovací náklady. Využití je nejčastější při ohřevu bazénové vody v otevřených bazénech a při maloobjemovém ohřevu TV např. v zahrádkářských koloniích.

4.3 Expanzní nádoba

Pro převážnou většinu v současnosti montovaných solárních soustav pro celoroční provoz lze doporučit jejich provedení jako uzavřený systém s membránovou expanzní nádobou. Při výpočtu jejího objemu je nutné počítat i s možností, že se veškerý objem teplotně kapalniny v kolektorech a části potrubí odpaří (např. při výpadku oběhového čerpadla za slunečného počasí). Expanzní nádoba pak musí zachytit celý objem odpařené tekutiny, aby nedošlo k jejímu úniku ze systému při otevření pojistného ventilu. Z tohoto hlediska je

Expanzní nádoba se montuje do soustavy tak, aby při odpaření teplotně kapalniny v kolektorech mohla teplotně kapalnina natékat do expanzní nádoby z obou stran.



4.4 Akumulační nádoby (solární zásobníky)

Vzhledem k tomu, že energetické zisky ze slunečního záření a tím i zisky solárních soustav nejsou stálé a jsou nepravidelné jak v průběhu dne, tak v průběhu roku, jsou akumulční zásobníky nedílnou součástí solární soustavy.

Tyto zásobníky se vyrábí ve speciálním provedení pro solární soustavy, kdy zabudovaný trubkový výměník (někdy žebrovaný) má pro lepší přestup tepla zvětšenou teplosměnnou plochu.

Velmi rozšířené je používání bivalentních (popř. trivalentních) akumulčních nádob.

Některá základní zapojení akumulčních nádob v solárních soustavách jsou uvedena v závěrečné části této kapitoly.

4.5 Výměníky

Při řešení některých solárních soustav, převážně těch velkoplošných s instalovanou plochou > 20 m², je nutné použít pro předání tepla z teplotnosné látky primárního okruhu do vody sekundárního okruhu výměník tepla. Tato potřeba je dána velikostí teplosměnné plochy. Účinnost výměny tepla je u deskových nebo trubkových protiproudých výměníků mnohem vyšší než u vestavěných výměníků v akumulčních nádobách. Je to dáno tím, že u externích výměníků je jak na straně primárního, tak i na straně sekundárního okruhu silně turbulentní proudění. U vestavěných výměníků se na výměně tepla podílí pouze laminární konvekční proudy. Toto řešení je investičně i provozně o něco náročnější, neboť oběhové čerpadlo musí být i na sekundárním okruhu, a to ve většině případů v provedení pro teplou neupravenou vodu (jako cirkulační čerpadlo).



4.6 Potrubí a izolace

Potrubí primárního (solárního) okruhu od kolektorů k zásobníku tepla (výměníku) je nutné dimenzovat na teplotu minimálně 150 °C (v kolektorech se selektivní vrstvou je teplota při provozu naprázdno až 160 °C, u vakuových až 250 °C) a tomu odpovídající tlaky. V žádném případě není možné použít pro přívodní a vratné potrubí běžné plastové trubky. Žádný ze známých plastových materiálů používaných v topenářské praxi nevyhovuje provozním podmínkám solárních soustav (teplotní rázy a mechanické namáhání).

Nejvhodnějším materiálem se jeví potrubí z měděných trubek spojených pájením nebo lisováním. V dnešní době se objevují i systémy s tzv. vlnovcovým potrubím. Výhodou je rychlá práce a flexibilita. Nevýhodou jsou zvýšené tlakové ztráty způsobené tvarem vlnovce, nebo nutnost použít větší průměr potrubí oproti měděnému.

Důležitou součástí je také tepelná izolace potrubí, neboť tepelné ztráty z potrubí do okolí by podstatně snižovaly celkovou účinnost solární soustavy. Při instalaci tepelné izolace je třeba brát v úvahu, že teplota na výstupu z kolektorů může dosahovat teplot nad 150 °C, doporučuje se pro toto potrubí používat tepelné izolace na bázi minerálních látek, nikoliv na bázi plastů.

Pro rozvody ve venkovních prostorech je nutné použít nenavlhavé potrubí odolné proti UV záření, popřípadě provést zakrytí potrubí a tepelné izolace vhodným krytem (pozink. plech, Al plech).

4.7 Oběhové čerpadlo

Oběhové čerpadlo zajišťuje cirkulaci teplotnosné kapaliny mezi kolektory a tepelným výměníkem. Jeho dimenzování je shodné s dimenzováním pro otopné soustavy.

Je třeba vypočítat křivku tlakových ztrát potrubních rozvodů, jako součet místních tlakových ztrát Δp_m a délkových tlakových ztrát Δp_L . Je však potřeba počítat s větší viskozitou nemrznoucí směsi a tím se zvýšení tlakových ztrát.

Na takto spočtené křivce tlakových ztrát se určí optimální pracovní bod (podle jmenovitého průtoku teplotnosné látky jedním kolektorem) a z katalogu oběhových čerpadel vybereme vhodnou výkonovou řadu.

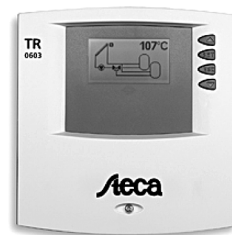


Pro solární soustavy v lokalitách, kde není možnost připojení k elektrické síti nebo pro havarijní provoz v případě výpadku elektrické sítě, je možné použít dnes již poměrně dostupná čerpadla napájená 24V (např. od fy LAING), pro přímé napájení z fotovoltaických panelů.

U systémů, kde je ve venkovním prostoru vedena delší část potrubí, musíme počítat také s rezervou pro rozběh v zimních měsících, kdy je v ranních hodinách viskozita teplosné látky mnohem vyšší než při provozní teplotě. Tuto situaci lze řešit instalací zdvojeného čerpadla, kdy jedno pracuje jako špičkové pouze při rozběhu.

Některé firmy dnes dodávají speciální čerpadla pro solární soustavy a to jak pro systémy LOW-FLOW (nizkoprotokové soustavy s vyšší pracovní teplotou) tak HI-FLOW (běžné solární soustavy).

Tato speciální čerpadla vznikla na základě širší poptávky ve světě, kdy u většiny solárních soustav jsou při nižších průtocích vyšší tlakové ztráty (v porovnání s otopnými soustavami).



4.8 Elektronické regulátory

Elektronické regulátory umožňují plně automatický provoz solárních soustav. Jejich hlavním úkolem je sepnout oběhové čerpadlo v případě, kdy je na kolektorech vyšší teplota než ve spotřebiči (převážně v zásobníku TV). U většiny moderních regulátorů se dá rozdíl teplot, při kterém čerpadlo spíná, plynule nastavit.

U víceokruhových systémů, kdy je ke kolektorům připojeno více spotřebičů, musí regulátor ovládat jeden, případně dva trojcestné ventily (nebo čerpadla). Pro jedno- až tříokruhové solární soustavy jsou dnes dodávány unifikované regulátory. Pro složitější solární soustavy, nebo pro soustavy se zvláštním režimem provozu, je vhodné instalovat programovatelný regulátor.

4.9 Ostatní součásti solárních systémů

Trojcestné ventily mají většinou za funkci rozdělit primární okruh na několik větví k jednotlivým spotřebičům (příprava TV, ohřev bazénové vody, přitápění objektů aj.) Pro tyto potřeby postačuje dvupolohová regulace. Pokud to konstrukční řešení dovoluje, umísťuje se ventil do přívodního potrubí ke kolektorům (z důvodů menšího tepelného namáhání). V současnosti se však preferuje zapojení se dvěma čerpadly a zpětnými klapkami. U solárních soustav je v období s malou intenzitou slunečního záření problém využít nízkopotenciální teplo z kolektorů (teplonosná kapalina o teplotě 30 , 40 °C) při potřebě ohřívání TV na vyšší teploty (55,60 °C). V takovém případě je nutná plynulá regulace nebo použití termostatického trojcestného ventilu. Při tomto zapojení cirkuluje teplonosná kapalina nejprve pouze přes kolektory, kde se postupně ohřívá na stále vyšší teplotu. Po dosažení nastavené teploty začne trojcestný ventil propouštět část teplonosné látky do akumulární nádoby.

Pojistný ventil se dimenzuje podle maximálního povoleného přetlaku na kolektorech (u běžných kolektorů 600 kPa) nebo na expanzní nádobě.

Zpětná klapka je do primárního okruhu montována v případě, kdy je akumulární nádoba níže než kolektorové pole (což je převážná většina systémů s nuceným oběhem). Jejím úkolem je zabránit zpětné cirkulaci teplonosné kapaliny, aby nedocházelo k ochlazení ohřáté vody z akumulární nádoby přes kolektory v nočních hodinách. Zpětné klapky se také instalují do jednotlivých okruhů pokud



místo regulace trojcestným ventilem zvolíme regulaci čerpadly. V každém okruhu je jedno oběhové čerpadlo a jedna zpětná klapka aby nedocházelo k vzájemnému přetlačování okruhů a systém je regulován zapínáním jednotlivých čerpadel.

U některých systémů je možné nahradit zpětnou klapku tzv. „tepelným sifonem“ s výškou nejméně 0,3 m. Jedná se o „s“ kus, ve kterém se voda teplotně vystratifikuje a sama vytvoří zátku, kdy tlak daný rozdílem teplot mezi kolektorem a zásobníkem nepřekoná tlak, vytvořený teplotním rozdílem v „tepelném sifonu“. Po praktických zkušenostech z některých solárních soustav je však toto řešení nedostatečné. Naopak se doporučuje instalovat zpětnou klapku jak do přívodního tak zpětného potrubí. V některých případech docházelo k samovolnému proudění i v jedné trubce, kdy vnitřkem průřezu stoupala teplá kapalina nahoru a po obvodu klesala ochlazená dolů.

4.10 Nosné konstrukce

Pro běžné uložení kolektorů na pevný podklad jsou dodávány ke každému typu kolektorů typizované nosné konstrukce, jak pro ploché, tak pro šikmé střechy.

Při projekci rozměrnějších nosných konstrukcí, pro rozsáhlá kolektorová pole, je třeba brát ohled na teplotní roztažnost použitého materiálu. Jestliže je v zimě za extrémních podmínek teplota až -20°C, v létě se může nosná konstrukce zahřát i na 70°C. Teplotní rozdíl je pak 100 K.

Pro uhlíkové oceli se součinitelem délkové roztažnosti $a = 0,000\ 014\ K^{-1} = 14 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$ to znamená při rozdílu teplot 100 K dilataci konstrukce o délce 10-ti metrů na krajích o 14 mm.

Při projekčních pracích na panelovém domě v Chebu (ul. Boženy Němcové) byla délka nosné konstrukce z I profilů 18 m. To by znamenalo délkovou dilataci 25,2 mm. Při pevném uložení na panelových atikách by to znamenalo jejich pohyb a pravděpodobné narušení panelové konstrukce.

Proto je třeba při takto dlouhých nosných konstrukcích zajistit jejich kluzné uložení.



Obr. č. 12 - Příklad dělené nosné konstrukce

5 PROVEDENÍ NĚKTERÝCH SOLÁRNÍCH SOUSTAV PRO VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

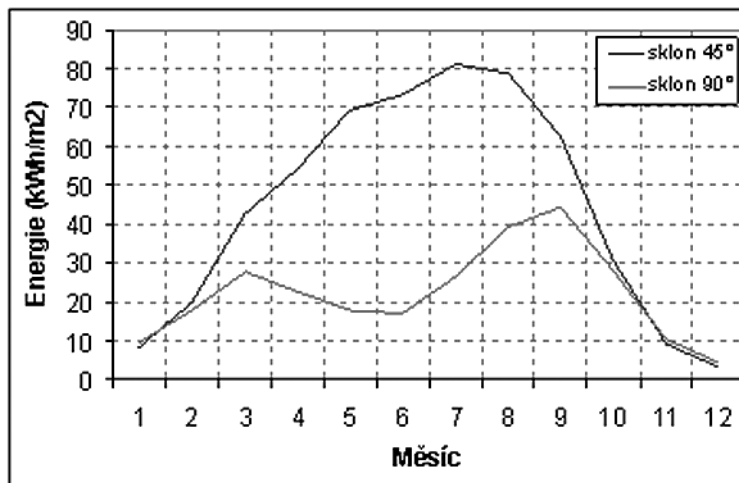
Základním požadavkem pro správné fungování solární soustavy je vhodná orientace kolektorového pole vzhledem ke světovým stranám. Ideální je orientace jižní s možným odklonem do 30°. Důležitý je také sklon kolektorů slunečního záření. Ten má vliv na tvar průběhu solárních energetických zisků (obrázek č. 12). Podle průběhu roční potřeby energie je potom možné volit i sklon kolektorů :

- celoroční provoz - optimální sklon 40° - 45°
- sezónní letní provoz - optimální sklon 25° - 35°
- zimní sezónní provoz - optimální sklon 60° - 90°

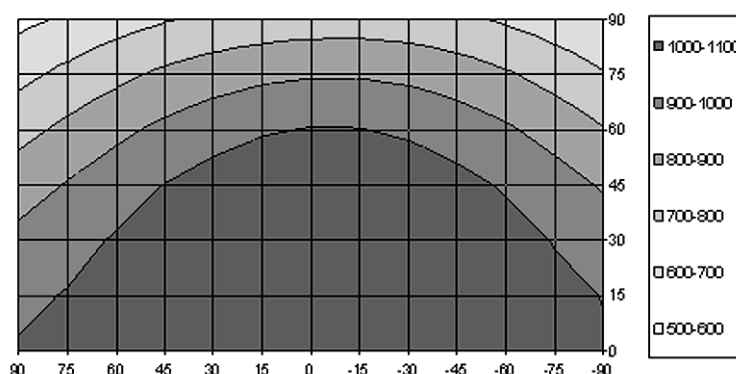
Ve většině instalací se kolektorové pole instaluje na střechu objektu. Podle tvaru střechy mohou nastat dva případy:

| střecha | výhody | nevýhody |
|----------------|---|--|
| šikmá | kolektory se pokládají se stejným sklonem jako má střecha – jednoduchá montáž | orientace kolektorového pole je závislá na orientaci budovy |
| | kolektory si navzájem nestíní | |
| | nižší náklady na nosnou konstrukci | |
| | Možnost integrace kolektorů přímo do střešního pláště (náhrada střešní krytiny) | |
| plochá | možnost libovolné orientace vzhledem ke světovým stranám | nosná konstrukce nákladnější |
| | | u větších kolektorových polí je třeba speciální roznášecí konstrukce |

Jak u novostaveb, tak u rekonstruovaných objektů nemusí být umístění kolektorového pole vázáno jen na střechu objektu. V některých případech je účelné umístit kolektory na zábradlí balkonů, jako stínící prvek nad okny nebo přímo na jižní fasádu objektu jako součást zateplovacího systému. Jsou to zejména případy, kdy je kladen hlavní požadavek na přitápění a tedy na rovnoměrnost energetických zisků v průběhu roku (obrázek č. 12). Při instalaci kolektorů do svislé polohy (právě na fasádu nebo balkónové zábradlí) je snížen rozdíl energetických zisků léto – zima; ovšem za cenu poklesu celkového ročního energetického zisku ve srovnání se stejnou plochou se sklonem optimálním pro celoroční provoz.



Obr. č. 13 - Příklad energetických zisků z 1 m² při různém sklonu osluněné plochy (kolektoru)



Obr. č. 14 - Roční dávky slunečního záření na různě orientované (vodorovná osa) a různě skloněné (svislá osa) plochy v ČR [kWh/m²]

V případě využití kombinované soustavy (TV, pítápění) je nezbytné při projektových pracích počítat s přizpůsobením topné soustavy soustavě solární zejména z hlediska teplotního spádu.

Důležité je také zohlednit dynamiku tepelného chování stavby při výběru otopné soustavy. Například u pasivních domů s malými tepelnými ztrátami je nevhodné použít pouze podlahové vytápění pro jeho dlouhou odezvu na regulační zásah (při náhlém oslunění interiéru dochází k přetápění).

Dále je třeba zvážit možnost využití získané tepelné energie v letních měsících. Je-li například solární soustava navržena jen pro pítápění, bude v letních měsících obrovský přebytek energie. Proto se solární soustavy pro pítápění doporučuje navrhovat hlavně tam, kde součástí objektu je velká akumulční hmota, vytápěný bazén provozovaný v přechodovém a letním období nebo jiné využití tepelné energie mimo topné období.

5.1 Rozdělení solárních soustav

Ve všech následujících tabulkách je používáno následné číslování typů kolektorů:

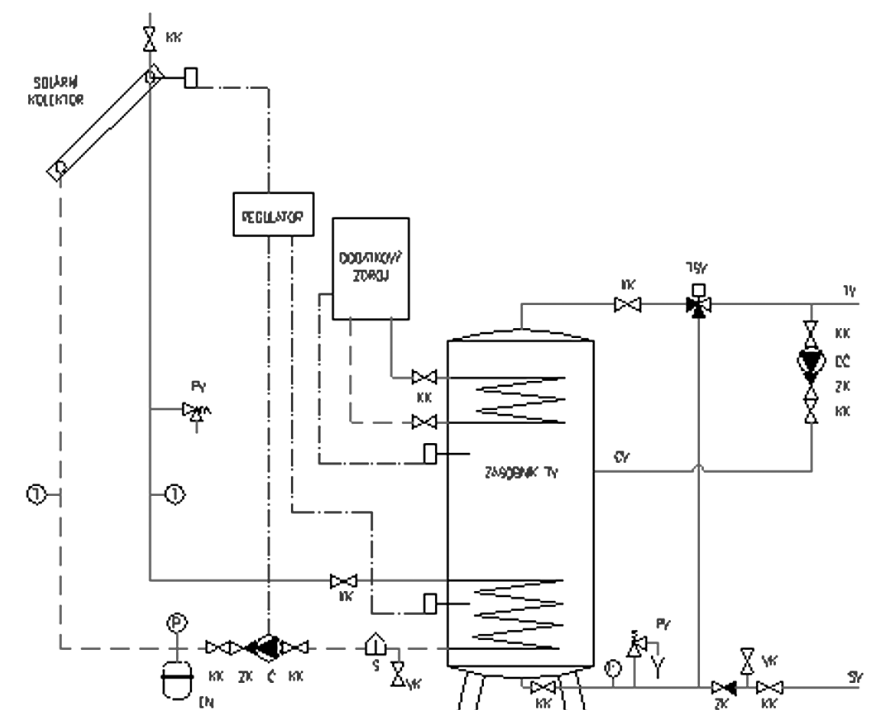
- plochý selektivní kolektor (1)
- plochý vakuový kolektor (2)
- trubicový vakuový kolektor (3)

Solární soustava pro celoroční přípravu TV

Dimenzování objemu zásobníku TV

| Příprava TV | Potřebná plocha kolektorů (m ² /osoba) | | |
|----------------------------|---|------|------|
| | (1) | (2) | (3) |
| Jedno- a dvougenerační dům | 1,50 | 1,10 | 0,80 |
| Obytný dům s více rodinami | 1,10 | 0,90 | 0,60 |

| Příprava TV | Zásobník TV (l/osoba) |
|--|-----------------------|
| Jedno- a dvougenerační dům | 70 (25)* |
| Obytný dům s více rodinami | 45 (20)* |
| * hodnoty v závorkách platí pro systém zapojení B1b. | |



Obr. č. 15 - Zapojení č. B1a (s bivalentním zásobníkem)

5.2 Solární soustava s bivalentní akumulční nádobou

Technický popis:

Oběhové čerpadlo je umístěno na vstupu do kolektorů, aby nebylo namáháno vysokými teplotami. Na sání oběhového čerpadla je umístěn spirovent sloužící ke kontinuálnímu odlučování vzduchu ze

systemu (používá se většinou jen u velkých solárních soustav). U kolektorů v nejvyšším místě je instalován ruční odvzdušňovací ventil (odvzdušnění pouze při montáži nebo po poruše), aby v případě varu v kolektorech neunikala teplotonosná látka z okruhu. Zpětná klapka zabraňuje zpětném proudění v solárním okruhu (nevychlazuje se v noci zásobník). Musí být umístěna tak, aby při stagnaci a odpaření teplotonosné látky v kolektorech umožnila proudění teplotonosné látky do expanzní nádoby oběma směry (přívodním i vratným potrubím). Pojistný ventil je umístěn na výstupu z kolektorů a mezi kolektory a pojistným ventilem nesmí být uzavírací armatura. U mnohých kompaktních čerpadlových skupin je odbočka pro připojení expanzní nádoby a pojišťovacího ventilu na přívodním potrubí, což není správně. Do akumulární nádoby je zapojen dodatečný zdroj tepla (el. vložka, plynový kotel) a dohřívá její horní část.

Funkce systému:

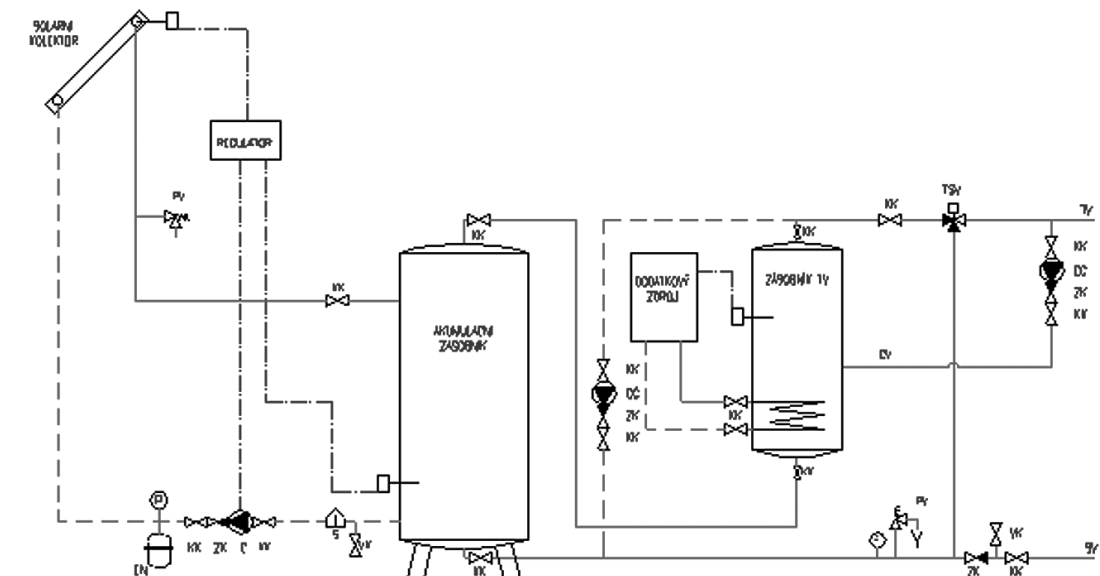
Regulátor porovnává teplotu teplotonosné látky na výstupu z kolektorů s teplotou ohřívání vody ve spodní části zásobníku. Je-li teplota na výstupu z kolektorů vyšší o nastavený teplotní rozdíl (cca 7 K), regulátor zapne oběhové čerpadlo a teplotonosná látka přenáší energii slunečního záření do zásobníku TV. Pokud sluneční energie vodu v zásobníku dostatečně neohřeje, je sepnut doplňkový zdroj tepla, ohřívající horní část zásobníku (využití stratifikace teplot v zásobníku). Řízení dohřevu může být zcela autonomní, nebo svázáno s provozem solární soustavy a výhodně zohlednit denní ohřev, tzn. spínání bivalentního zdroje pouze ráno a /nebo v pozdních odpoledních hodinách - po době maximálního nahřátí zásobníku.

Možnosti využití:

- novostavby rodinných domů s malými prostory pro umístění kotelny;
- rekonstrukce rodinných domů, zejména tam, kde technické řešení otopné soustavy nedovoluje využití tepelné energie ze solární soustavy pro přitápění. A to buď z hlediska otopné soustavy (nemožnost napojit se na potrubní rozvody, vysoký teplotní spád otopné soustavy, elektrické přímotopy) nebo z hlediska zdroje tepla (lokální zdroj tepla - kamna, pec).
- dále při kompletních rekonstrukcích přípravy TV (nový zásobník TV, zavedení úsporných armatur apod.).

Požadavky na instalaci:

Bivalentní zásobník je vhodný při menším odběru teplé vody ze zásobníku nebo při nedostatku místa pro instalaci akumulárního zásobníku. Vhodné pro toto řešení jsou zásobníky s řízenou stratifikací.



Obr. č. 16 - Zapojení č. B1b (s akumulčním zásobníkem)

Solární soustava s předřazenou akumulční nádobou

Technický popis:

Akumulační zásobník umožňuje vyšší využití sluneční energie (pracuje během dne na nižší teplotě než zásobník TV), umožňuje při slunném dnu akumulovat energii na více než jeden den (výhodné v přechodném období s proměnlivým počasím) a zabraňuje přehřívání soustavy v letním období. Nedochází tak k ovlivňování výkonu solární soustavy dodatkovým zdrojem tepla a zásobník TV je pouze pohotovostní, s dohřevem dodatkovým zdrojem tepla. Tím může být zásobník, průtočný výměník v plynovém kotli (pokud umí regulovat výstupní teplotu) ap.

Toto řešení je vhodné pro rekonstrukce (pouze se připojí výstup akumulčního zásobníku na vstup zásobníku TV).

Zvýšení využití energie ze solární soustavy při nižším odběru TV je možné zajistit použitím cirkulačního okruhu s čerpadlem CČ (zapojení B1b).

Možnosti využití:

- novostavby bytových či panelových domů (centrální příprava TV);
- rekonstrukce rodinných domů, zejména tam, kde technické řešení otopné soustavy nedovoluje využití tepelné energie ze solárního systému pro vytápění
- rekonstrukce stávajících systémů centrální přípravy TV (předřazení solárního systému stávajícím zásobníkům TV (rodinné domy, bytové domy, panelové domy).
- rekonstrukce stávajících systémů decentrální přípravy TV (menší zásobníky, průtokové ohřivače) v bytových a panelových domech.

Požadavky na instalaci:

Dostatečná velikost prostor kotelny, resp. přípravy TV.

U rekonstrukci decentrální přípravy je nutné vybudovat rozvod teplé (předehřáté) vody ze solárního akumulčního zásobníku.

5.3 Závěr

Pro optimální využití sluneční energie nestačí tuto energii pouze zachytit, ale je nutno jí odvést z kolektoru, uchovat a vhodně využít. K tomuto účelu je bohužel nutné vybudovat celý poměrně sofistikovaný systém, který bude podřízen záměru využívání tepelné energie. Obecně systém zahrnuje zdroj energie tj. kolektorové pole a dále transportní soustavu (potrubí, čerpadla, případně výměník), akumulátor energie, regulaci a napojení na uživatelské technologie. Každý z těchto článků je v systému rovnocenný a snadno v něm můžeme těžce získanou energii zmařit. Proto musíme dbát na koncepční přístup a na vyváženost jednotlivých prvků od počátku, t.j. od projektu až po realizaci. Při projektování a následné montáži je nutné zohlednit všechna specifika navrhované solární soustavy a přistupovat k němu jako k celku. To vyžaduje zkušenosti v oboru a pečlivé dimenzování všech hlavních prvků.

6 VĚTRNÁ ENERGIE

Rychlost větru je vzdálenost, kterou urazí pohybující se vzduch za jednotku času, nejčastěji se udává v metrech za sekundu. Rychlost větru se měří pomocí anemometru. K odhadu rychlosti větru, bez použití přístrojů slouží Beaufortova stupnice.

Podle větrného atlasu ČR je celoroční průměrná rychlost větru přes 4 m/s (ve výšce 10 m) a přes 5,3 m/s (ve výšce 30 m).

Roční průměrná rychlost větru v lokalitě výstavby větrné elektrárny se předpokládá 6 a více m/s. Jako nejvhodnější lokality v ČR pro stavbu se považují plochy o rozloze 10 km² a více v nadmořských výškách zpravidla nad 700 m. Takové lokality však leží většinou v chráněných krajinných oblastech, kde je zakázáno stavět.

V praxi se pro základní odborné posouzení lokalita hodnotí různými počítačovými modely:

Nejspolehlivější metodou je bezesporu dlouhodobější měření rychlosti větru přímo na místě po dobu jednoho roku. Na základě naměřených dat lze potom zvolit vhodný typ motor pro instalaci a odhadnout roční výrobu energie větrné elektrárny

V současné době větrné elektrárny pracují na desítky lokalit v České republice a jejich nominální výkon se pohybuje od 75kW do 1,5 MW. Instalují se též stále vyšší větrné stroje - průměr rotoru až 100m. Jejich výrobci jsou jak české firmy, tak firmy zahraniční zejména z Dánska, Německa a Itálie.

Nejvíce větrných elektráren najdeme na pobřeží Severního moře, mnohé jsou instalovány u pobřeží v moři. Nejbližší k jižním Čechám jsou mohutné instalace Nezdického jezera východně od Vídně.

Nejvíce se využívají větrné elektrárny s vrtulí obvykle se třemi lopatkami, existují též vrtule se dvěma nebo i s jednou lopatkou.

Podle výkonu se rozlišují

- mikro a malé (do 20 kW)
- střední (20 – 50 kW)
- velké (nad 50 kW)

6.1 Autonomní systémy – grid off

Autonomní systémy slouží objektům, které nemají možnost se připojit k rozvodné síti. Zde se obvykle používají mikroelektrárny s výkonem od 0,1 do 5 kW. Součástí autonomního systému jsou i akumulátory a řídicí elektronika. V objektu je buď rozvod stejnosměrného proudu o napětí 12 nebo 24 V. Jindy je použit střídač pro dodávku střídavého proudu 220 V.

6.2 Systémy dodávající energii do rozvodné sítě - grid-on

Používají se v oblastech s vysokým a spolehlivým větrným potenciálem. Slouží pro komerční výrobu elektřiny. Ve vnitrozemí mají stroje obvykle výkon 300 až 2 000 kW. Stroje instalované na pobřeží a na moři mají výkon až 5 MW. Obvykle se instaluje až několik desítek strojů, vznikají tzv. větrné farmy. Tyto velké elektrárny produkují proud o vyšším napětí než 220 V.

Instalace větrné elektrárny podléhá schvalovacímu řízení, posuzuje se mimo jiné:

- únosnost podloží, kvalita podkladu a seismická situace, geologické podmínky pro základy elektrárny,
- dostupnost lokality pro těžké mechanismy, možnosti pro vybudování potřebné zpevněné komunikace,
- vzdálenost od přípojky VN nebo VVN s dostatečnou kapacitou,
- vzdálenost od obydlení, která by měla být dostatečná kvůli minimalizaci možného rušení obyvatel hlukem (nejvyšší přípustná hladina hluku ve venkovním prostoru na obytném území je ve dne 50 dB a v noci 40 dB),
- míra zásahu do okolní přírody, krajinný ráz (zásah do vzhledu krajiny).

7 PŘEMĚNA SLUNEČNÍ ENERGIE NA ELEKTRICKOU (FOTOVOLTAIKA)

Princip přeměny sluneční energie na elektrickou je znám od konce 19. století, kdy A. E. Becquerel objevil fotoelektrický jev a později (1905) jej vysvětlil a exaktně popsal A. Einstein.

Fotovoltaické články na bázi křemíku byly vyvíjeny od poloviny 20. století pro kosmický výzkum pro napájení družic. Zpočátku byla účinnost přeměny okolo 5% a postupně se zvyšovala a výrobní cena článků se snižovala. V devadesátých letech 20. století se tento chvály hodný vývoj zastavil. Masové dotace v Německu, Španělsku a vyvolaly vysoký zájem o nákup fotovoltaických panelů a výroba nestačila několik let poptávce, kvůli nedostatku čistého křemíku. Využívá se monokrystalický křemík (nejdražší, účinnost až 17%), amorfní křemík (nižší cena, účinnost do 8%), polykrystalický křemík (střední cena, účinnost do 15%). Výroba čistého křemíku pro panely je náročná a nákladná.

Rozlišujeme následující fotovoltaické instalace:

Malé střešní instalace s výkonem zpravidla do pár kWp umístěné na střešní konstrukci budovy, zejména pak na rodinných domech.

Velké střešní instalace o výkonech přesahujících 10kWp až po obrovské v řádech MWp. Jsou to převážně instalace na velkých průmyslových objektech, halách či logistických centrech.

Volně stojící instalace o výkonech stovek kWp až po instalace v řádech MWp. Jsou to elektrárny

instalované na volných prostranstvích, kde je podpůrná konstrukce pevně spojená se zemí.

Wp (Watt peak) je maximální výkon fotovoltaických panelů při energetické hustotě slunečního záření 1000 W.m⁻². Je to tedy výkon, který instalace dává za jasného dne při teplotě 25°C. Výkon fotovoltaických panelů totiž klesá s teplotou, proto je nutné definovat teplotu při stanovení výkonu.

Solární elektrárna má tyto základní prvky:

- **Fotovoltaické panely**

Invertor (solární střídač)

Střídač je neméně důležitou součástí fotovoltaické elektrárny. Ve fotovoltaických panelech se vyrábí stejnosměrný proud, který musí být kvůli dodávce do sítě přeměněn na proud střídavý pro dodávku do elektrické sítě, což je 230V/400V 50Hz.

Rozvaděč

Zajišťuje ochranu jednotlivých částí systému, možnost jejich odpojení i ochranu sítě.

Obsahuje jističe a přepětové ochrany před měniči napětí, elektroměr pro měření energie, síťovou ochranu pro ochranu, automatický stykač.

Nosná konstrukce

Slouží k uchycení jednotlivých panelů na střechy či pozemky. Mezi jednotlivé součásti patří hliníkové profily, střešní háky a spojovací materiál. Dle typu instalace se dělí na konstrukce: pro sedlové střechy, pro ploché střechy a pro volná prostranství.

Kabely

Pro instalaci jsou použity speciální kabely, které odolávají extrémním teplotním výkyvům, atmosférickým vlivům, UV záření, vlhkosti, mrazu a klimatickým extrémům. Životnost kabelů by měla být alespoň 30 let.

- **Konstrukce pro sedlové střechy**

Je nejjednodušší a nejpoužívanější, protože sklon střechy odpovídá požadovanému sklonu panelů. Jsou možností instalace na rodinné domy se sedlovou střechou, pod sklonem cca 35°. Tato konstrukce je vůbec nejjednodušší a nejlevnější instalací, kdy dochází pouze k připevnění panelů na hliníkové profily.

- **Konstrukce pro ploché střechy**

Jsou většinou tvořeny ocelovými pozinkovanými profily trojúhelníkového tvaru, které jsou vzájemně spojené hliníkovým profilem pro uchycení fotovoltaických panelů. Konstrukce se ke střeše připevňuje napevno chemickými kotvami, nebo se zatíží betonovými bloky či dlaždicemi. Toto řešení je ve srovnání s montáží na sedlové střechy o něco pracnější a nákladnější.

- **Konstrukce pro volná prostranství**

Konstrukce pro volná prostranství vycházejí ze stejného postupu, jakož tomu bylo s konstrukcí u plochých střeš. Jediným rozdílem je upevnění konstrukce. Konstrukce pro volná prostranství se spojuje pevně se zemí, a to buď závrtnými šrouby, pozinkovanými profily zatlačenými do země, nebo betonovými základy. U těchto konstrukcí se klade vysoký důraz na odolnost proti povětrnostním podmínkám, tomu odpovídá jak pořizovací cena, tak komplikovanost.

7.1 Požadavky zákona pro výstavbu větrných a fotovoltaických elektráren

(převzato z diplomové práce Z. Doušová, 2011, FŽP ČZU Praha)

Legislativa, jež doprovází od prvopočátku tento druh elektráren, je velice obsáhlá, tudíž výčet jednotlivých zákonů, vyhlášek a předpisů je součástí příloh.

Požadavky zákona

Každá stavba v České republice musí splnit požadavky právní úpravy. Záměry na výstavbu zařízení pro výrobu z obnovitelných zdrojů energie mohou být povoleny jen za předpokladu, že jsou umístěny v souladu s územním plánem, který byl dohodnut s dotčenými orgány a vydán v souladu s krajskými zásadami územního rozvoje.

K žádosti o vydání územního rozhodnutí musí být přiložen výstup z procesu posuzování vlivů na životní prostředí, pokud je zařízení pro výrobu z OZE záměrem ve smyslu zákona o posuzování vlivů na životní prostředí.

Po vyjádření dotčených orgánů státní správy je vydáváno územní rozhodnutí a následně stavební povolení. Povolovací proces zakončuje kolaudační souhlas, na základě kterého se záměr definitivně může uvést do provozu.

| ZÁSADY ÚZEMNÍHO ROZVOJE | Stanovisko SEA |
|--------------------------|--|
| | ↓ |
| ÚZEMNÍ PLÁN obce | Stanovisko dotčených orgánů (z. č. 183/2006 Sb. stavební zákon) |
| | ↓ |
| EIA | Vyjádření dotčených orgánů (z. č. 100/2001 Sb. o posuzování vlivů na ŽP) |
| | ↓ |
| ÚZEMNÍ ŘÍZENÍ | Závazná stanoviska dotčených orgánů a podkladová rozhodnutí (z. č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny) |
| | ↓ |
| STAVEBNÍ POVOLENÍ | Závazná stanoviska dotčených orgánů a podkladová rozhodnutí |
| | ↓ |
| KOLAUDAČNÍ SOUHLAS | Závazná stanoviska dotčených orgánů |
| | ↓ |
| LICENCE K VÝROBĚ ENERGIE | Žádost u energetického regulačního ústavu |

Vliv na životní prostředí

Důležitým kritériem pro výstavbu fotovoltaických a větrných elektráren je vliv na životní prostředí, který se vyhodnocuje podle zákona č. 100/2001Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a podle přílohy č., 1 o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů. Příloha například uvádí dvě kategorie záměrů, které mohou podléhat procesu posuzování vlivů na životní prostředí. Větrné elektrárny například spadají do kategorie č. II. (vyžadují alespoň zjišťovací řízení), oproti tomu fotovoltaické elektrárny nevyžadují posouzení vlivů na životní prostředí žádné.

Ochrana krajinného rázu

Aktuální problematikou povolovacího procesu zařízení pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie je posuzování zásahů do krajinného rázu, a to zejména u větrné a solární (fotovoltaické) elektrárny. Ochrana krajinného rázu je zakotvena v zákoně č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

V podmínkách České republiky je krajinný ráz výsledkem nepřetržité historicky dlouhodobé interakce přírodních procesů a podmínek krajiny a krajinotvorné činnosti člověka. Ochrana krajinného rázu, kterou zajišťuje stát prostřednictvím orgánů ochrany přírody, se zaměřuje na omezování činností, které snižují jeho estetickou a přírodní hodnotu.

Takovými činnostmi jsou nejčastěji stavby, včetně staveb zařízení pro obnovitelné zdroje energie. Zákon o ochraně přírody a krajiny definuje, že stavby lze umístit a povolit pouze s ohledem na zachování:

- významných krajinných prvků,
- zvláště chráněných území,
- kulturních dominant krajiny,
- harmonického měřítka a vztahy v krajině.

Ochrana zemědělského půdního fondu

Zemědělský půdní fond je dle § 1 zákona č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu, základním přírodním bohatstvím naší země, nenahraditelným výrobním prostředkem umožňujícím zemědělskou výrobu a je jednou ze složek životního prostředí. Při umísťování staveb pro výrobu energie z OZE je třeba řídit se těmito základními zásadami:

- zásada přednostního využití ploch a objektů ve stávajícím zastavěném území s cílem podpořit využití opuštěných objektů a areálů (tzv. brownfields),
- zásada přednostního využití ploch v zastavitelném území, určených platným územním plánem pro výrobu,
- zásada přednostního využití méně kvalitní zemědělské půdy, či půdy méně vhodné pro zemědělské využívání, nelze-li záměr umístit v zastavěném, nebo zastavitelném území.

Pro výstavbu zařízení na výrobu energie z OZE je zapotřebí zejména záboru (tzv. odnětí) zemědělského půdního fondu, který je možné uskutečnit jen se souhlasem orgánu ochrany ZPF (zemědělský půdní fond). Zásady pro odnímání půdy ze zemědělského půdního fondu jsou stanoveny v § 4. Větrné a sluneční elektrárny se pro tento účel považují za stavby dočasné, mimo jiné i proto, že zpravidla nedochází ke skrytce orné půdy ve větším rozsahu. Podmínkou souhlasu s dočasným odnětím však je schválený plán rekultivace ZPF po ukončení provozu zařízení pro výrobu z OZE.

Zvláště chráněné druhy rostlin a živočichů

Dalším charakteristickým bodem pro výstavbu těchto zařízení je také ochrana zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů. Podle § 48 odst. 1 zákona č. 114/1992 Sb. se jedná o takové druhy, které jsou ohrožené nebo vzácné, vědecky či kulturně velmi významné. Seznam zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů je obsažen v přílohách vyhlášky MŽP č. 395/1992 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona č. 114/1992 Sb.

Pokud existuje odůvodněný předpoklad výskytu zvláště chráněných druhů rostlin nebo živočichů v území a jejich negativního ovlivnění záměrem, je třeba je ověřit formou podrobného biologického

průzkumu (součást procesu EIA). Pokud ze závěru vyplyne porušení podmínek, žádá se o povolení výjimky ze zákazů (§49 a §50) a to formou rozhodnutí.

Natura 2000

Za Natura 2000 je soustava chráněných území, vytvářená v Evropské unii. Tvoří ji dva typy území, a to ptačí oblasti a evropsky významné lokality. Souhlas s výstavbou se může ze zákona udělit jen v případě, že

- bude vyloučeno závažné nebo nevratné poškozování přírodních stanovišť a biotopů druhů, k jejichž ochraně je evropsky významná lokalita nebo ptačí oblast určena,
- a nedojde ani k soustavnému nebo dlouhodobému vyrušování takto chráněných druhů, pokud by takové vyrušování mohlo být z hlediska účelu zákona o ochraně přírody a krajiny významné.

Energetický regulační úřad

Stát podporuje výrobu energie z obnovitelných zdrojů tím, že určuje výkupní ceny elektřiny vyrobené v daném typu elektrárny.

Do roku 2001 byly minimální výkupní ceny stanovovány provozovateli distribučních soustav v dané oblasti. Od roku 2001 stanovuje výkupní ceny elektřiny Energetický regulační úřad (ERÚ). Tato cena je vyplácena po dobu následujících 15 let. Zákon č. 180/2005 Sb. přivedl zásadní změnu z hlediska určení výkupních cen elektřiny. Ve své podstatě tento zákon ukládá provozovatelům distribučních a přenosných soustav povinnost veškerou elektřinu z obnovitelných zdrojů vykupovat.

Výkupní ceny elektřiny z OZE v povinném výkupu jsou stanoveny jako minimální dle zákona č. 526/1990 Sb., o cenách, ve znění pozdějších předpisů. Zelené bonusy jsou stanoveny jako pevné ceny. Ceny nezahrnují daň z přidané hodnoty. K uvedeným cenám je připočítávána daň z přidané hodnoty podle zvláštního právního předpisu. V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat režim výkupních cen a režim zelených bonusů.

7.2 Výhody / nevýhody větrných a slunečních elektráren

Větrné elektrárny

Výhody

- větrná energie. je obnovitelným, nevyčerpatelným zdrojem
- při vlastní spotřebě el. en. se vyhneme přenosovým ztrátám
- nevyužívají fosilní paliva
- při výrobě nejsou produkovány žádné škodlivé emise a odpady (SO₂, CO₂, NO_x, popel.)
- Přebytky vyrobené elektrické energie může výrobce prodávat do veřejné rozvodné sítě na základě smluvního vztahu s distribuční společností (majitelem rozvodné sítě elektřiny) a tím může výrazně ovlivnit návratnost vložených finančních prostředků
- ekonomický přínos pro obce - podíl na zisku
- nové prvky v krajině, vyjadřující ekologický přístup jejich obyvatel k přírodě
- konstantní výkupní cena po dobu 20 let od spuštění
- zelené bonusy, dotace
- nová pracovní místa a příležitost pro český průmysl
- možnost získání dotace
- rychlost výstavby (několik týdnů až měsíců)

Nevýhody

- sporná hlučnost, s tím spojené rušení obyvatel i zvíře
- nebezpečnost pro ptactvo
- nestabilní výkon v závislosti na větru
- při stavbě VE o vyšších výkonech je nutné vynaložit poměrně vysoké investiční náklady
- návratnost vložených finančních prostředků je závislá na využití vyrobené elektrické energie
- technická náročnost výstavby
- obtížný výběr vhodných lokalit
- stroboskopický efekt (vrhání pohyblivých stínů)
- finanční návratnost nelze určit s dostatečnou přesností
- možnost poškození silným větrem (při rychlosti kolem 20m/s je obvykle nutno elektrárnu zastavit)
- estetické narušení krajiny
- bezpečnost provozu v zimních obdobích
- rušení televizního a radiového signálu

Sluneční elektrárny

Výhody (na budovách)

- na budovách se nezabírá se volná plocha – plocha pro instalaci je ovšem omezená
- nepřístupné zlodějům a vandalům – někdy nevhodná orientace budovy
- obvykle není nutno budovat (posilovat) přípojku k síti
- může sloužit pro vlastní spotřebu v budově, napájení záložních systémů
- vznikají nové pracovní pozice
- nenáročná obsluha

Nevýhody

- estetické hledisko
- instalace na stávající budovu znamená stavební zásah do budovy
- lze použít jen pevné panely
- kolísavost slunečního záření, klade nároky na rozvodnou síť
- riziko poškození při instalaci antén, bleskosvodů atd.
- lze použít jen u určitých budov
- riziko poškození a krádeže
- vyšší náklady na údržbu

Větrné a fotovoltaické elektrárny produkují elektrickou energii v závislosti na klimatických podmínkách – síla větru a sluneční svit. Zásadním problémem je nárazovité zatížení elektrické sítě a velmi nákladné uchování akumulace elektrické energie. V současné době přicházejí v úvahu akumulatory nebo přečerpávací elektrárny. Řešením by ovšem byla výroba vodíku, akumulace vodíku a využití například v dopravě. Zásadní výhodou fotovoltaiky je poměrně vysoká účinnost přeměny slunečního záření na energii (minimálně 10%) ve srovnání s biomasou.

Problematika instalací na volných plochách budou diskutovány při semináři.

Energetická návratnost a finanční náročnost likvidace fotovoltaických elektráren



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

To jsou často diskutované otázky. Je pozoruhodné, jak obtížně se tyto zásadní informace zjišťují (Doušová 2011). Dle ústních sdělení výrobců je potřeba na výrobu fotovoltaického panelu včetně výroby čistého křemíku energie, kterou panel vyrobí za dva roky provozu. Likvidace panelu by neměla být náročná, naopak by se měl recyklovat čistý křemík a měděné vodiče. Čistý křemík by neměl být taven s běžným užitkovým sklem, které se recykluje ve tříděném odpadu.

8 ENERGIE VODNÍCH TOKŮ

Energie vodních toků je vlastně energií sluneční. Sluneční energií se vypařuje voda, vodní pára stoupá vzhůru, sráží se a srážky sytí prameny.

- Energie vodních toků se počítá k obnovitelným zdrojům - nelze ji vyčerpat. Zároveň její provoz minimálně znečišťuje okolí.
- Vodní elektrárny vyžadují minimální obsluhu i údržbu a lze je ovládat na dálku.
- Mohou startovat během několika sekund. Lze je využít k pokrytí okamžitých nároků na výrobu elektrické energie.
- Nevýhodou je značná cena a čas výstavby a nutnost zatopení velkého území.
- Neopomenutelná je závislost na stabilním průtoku vody.
- Přehradní hráz dokáže zabránit i menším povodním, velké katastrofální povodně však ovlivňuje velmi málo.
- Přehradní hráze a jezy brání běžnému lodnímu provozu na řece, je nutno vybudovat systém plavebních komor resp. zdymadel
- Přehradní jezera mohou sloužit i pro jiné další účely, zejména jako zdroje pitné či užitkové vody.
- Bariéra pro tažné ryby
- Uvádíme **dva příklady** pro základní představu:
 - Při spádu 1,5m a průtoku 1 m³/s lze očekávat výkon asi 7 kW.
 - Při spádu 50m a průtoku 10 l/s (0,01 m³/s) lze odhadnout výkon na 3 kW.
- Výpočet:
- **Výška vodního sloupce (m) x průtok v m³ x gravitační zrychlení (9,8) x účinnost**

Přečerpávací elektrárny

Jelikož se el. energie nedá nijak skladovat, používá se vody k její přeměně na energii elektrickou a naopak. Pokud je spotřeba elektrické energie minimální (tj. je jí v napájecí soustavě přebytek), soustrojí plní horní nádrž přečerpávací elektrárny vodou z dolní nádrže, systém spotřebovává elektrickou energii z elektrorozvodné sítě. Spotřebovává tak obvykle elektrickou energii vyrobenou z jiných zdrojů, zpravidla se jedná o energii z tepelných či jaderných elektráren.

Voda z horní nádrže je v tomto případě řízeně vypouštěna do dolní nádrže přes turbíny elektrárny. Akumulovaná potenciální energie vody je tím vlastně přeměňována zpět na energii elektrickou, která se tak opožděně vrací zpět do elektrorozvodné sítě.

Jako malé vodní elektrárny se označují vodní elektrárny s instalovaným výkonem maximálně do 10 MW. Malé vodní elektrárny se většinou budují v místě bývalých mlýnů a jezů.

Vodní elektrárny - celkový instalovaný výkon [MW] a rok uvedení do provozu

| | | |
|---------------|---------------|------|
| Lipno | 120 | 1959 |
| Orlík | 364 | 1962 |
| Kamýk | 40 | 1961 |
| Slapy | 44 | 1955 |
| Štěchovice | 22,5 | 1944 |
| Vrané | 13,88 | 1936 |
| Střekov | 19,5 | 1936 |
| CELKEM | 723,88 | |
| | | |
| Lipno III | 1,5 | 1957 |
| Hněvkovice | 9,6 | 1992 |
| Kořensko | 4,8 | 2000 |
| Mohelno | 1,76 | 1977 |
| Dlouhé Stráně | 0,16 | 2000 |

10 TRAVNÍ BIOMASA VE VZTAHU K VÝROBĚ BIOPLYNU

Mgr. Richard Lhotský, ing. Miroslav Kajan
ENKI o.p.s., Třeboň

Travní porost je podle zákona č. 252/1997 Sb., o zemědělství definován jako souvislý porost s převahou travin určený k spásání nebo výrobě sena, případně travní senáže, přičemž může být nejvýše po uplynutí 5 let na období jednoho roku rozorán za účelem zúrodnění.

Pomineme-li rostlinnou fytomasu z jiných zdrojů (cíleně pěstované plodiny), pak travní biomasa může pocházet z následujících zdrojů:

1. **Přírozené travní porosty** – zaujímají jen malý podíl z celkové výměry. Nevyžadují pro svou existenci dodatečnou energii (zásahy člověka). Jde o vysokohorské louky, mokřady a rašeliniště a stepi a lesostepi.
2. **Polopřírozené travní porosty** – představují značný podíl travních porostů. Vznikly před delší dobou (více než 20 až 50 let dle pojetí hodnotitele) samozatravněním nebo výsevem travní či jetelotravní směsi. Nejsou intenzivně hnojeny ani využívány (sklizeny), nejsou obnovovány (radikálně ani přisevy) a nebyly v minulosti odvodněny. Produkce píce je nižší, než u umělých TP, ale je zde zjišťována vysoká druhová diversita rostlin i živočichů. Jsou často předmětem ochrany přírody a podléhají pak speciálnímu způsobu obhospodařování (často zákaz hnojení a opoždění první seč).
3. **Umělé** – intenzivně využívané travní porosty založené z jetelotravních či travních směsí na orné půdě nebo po radikální obnově předchozích travních porostů. Převažují kulturní, kvalitní druhy trav a leguminóz (zejména jetele lučního), většinou intenzivně hnojené a využívané s vyšší kvalitou píce, ale nižší druhovou diversitou, které poskytují 2 – 5 sečí za rok. Stabilita produkce v klimaticky extrémních ročnících je nízká. Vysokou produkcí se vyznačuje jílek mnohokvětý (*Lolium multiflorum*), který poskytuje produkci sena až nad 20 t.ha⁻¹. Častěji jsou pěstované jetelotravní směsi, složené z 1-2 druhů trav a jetele lučního (*Trifolium pratense*), případně vojtěšky seté (*Medicago sativa*). Výhodou je zajištění vyšší produkce díky fixaci vzdušného kyslíku a hlubokému kořenovému systému.

polopřirozenými trvalými travními porosty (TTP). Neustále se snižující stavy skotu v průběhu posledních 15 let jsou hlavním důvodem poklesu zájmu o produkční funkci travních porostů. Kromě produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných funkcí. S rozvojem turistiky jako významného ekonomického faktoru národního hospodářství je kladen důraz na funkci estetickou, krajinnotvornou a rekreační. Stále ještě není dostatečně doceněna funkce biofiltrační a protierozní. Například způsobí-li srážky na půdě bez porostu odtok $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, tak u ploch osetých kukuřicí to je $46 - 66 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, u obilnin $32-38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ a u travních porostů jenom $0 - 7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

Mimoprodukční funkce travních porostů jsou ovlivněny správným obhospodařováním - prateotechnikou. Nevhodný způsob obhospodařování vede ke změnám půdní úrodnosti, bilanci vodního režimu, erozi, zaplevelování apod. Jedním ze základních prvků péče o TTP je sečení a sklizení narostlé biomasy.

Trvalé louky a pastviny skýtají podle Rychnovské et al. (1985) při minimu investované energie velké množství píce s poměrně širokou sklizňovou dobou. Celosvětové využívání trvalých přirozených travních porostů na světě činí jen 2,76% potenciálně možné produkce (Alberda, 1980). I v Evropě, kde je toto procento nejvyšší, činí jen 24,7%.

Plochy trvalých travních porostů v České republice uvádí Český statistický úřad. Výměra luk v letech 1993 - 2001 se pohybovala v rozmezí 550 - 650 tisíc hektarů. Výměra ploch evidovaných jako pastviny byla v porovnání s trvalými loukami přibližně poloviční, 230 - 280 tisíc hektarů. Ve sledovaném období byla celková výměra TTP nejnižší v roce 1993 (776 tis. ha). Pak je možné sledovat postupný nárůst až na hodnotu 940 tisíc hektarů v letech 2000 - 2001. V roce 2006 dosahovala výměra trvalých travních porostů v ČR 889 388 ha, přes 80 % z jejich celkové výměry se nachází v bramborářských a horských oblastech. Největší výměry TTP v rámci ČR jsou v kraji Jihočeském (cca 17 %) a Plzeňském (cca 12 %). Dále následuje kraj Vysočina (9,5 %) a Moravskoslezský kraj (cca 9,0 %). V těchto čtyřech krajích je lokalizována téměř polovina (47,5 % v roce 2006) z celkové výměry TTP v ČR.

Výroba bioplynu z travní biomasy

vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace atd.

Z hlediska produkce bioplynu z jednotky organické hmoty jsou jednoznačně nejvýhodnější substráty s vysokým obsahem lipidů (tab.č.1) poskytující až 1 250 Nm³ bioplynu z tuny organické sušiny (Baserga, 1998).

Tab. 1 Produkce bioplynu a metanu ze základních složek organické hmoty (Baserga, 1998)

| Substrát | Produkce bioplynu z tuny organické sušiny (Nm ³) | CH ₄ (%) | Produkce CH ₄ z tuny organické sušiny (Nm ³) |
|-----------|--|---------------------|---|
| Sacharidy | 790 | 50 | 395 |
| Lipidy | 1250 | 68 | 850 |
| Proteiny | 700 | 71 | 497 |

U anaerobní fermentace rostlinné biomasy jsou hlavním zdrojem bioplynu polysacharidy typu celulózy a hemicelulózy případně škrobu. Hemicelulózy společně s celulózovými polysacharidy vytvářejí vlákninu. Buněčná struktura rostlin má kompozitní strukturu. Dlouhé řetězce celulózy vytvářejí „armaturu“, obtáčenou rozvětvenými řetězci hemicelulózy. Tato struktura je zpevněna zesíťovanou výplní ligninu, aromatického prostorového heteropolymeru fenolického typu. Celulóza může být enzymaticky štěpena přes di-sacharid celobiózu až na glukózu. I když hemicelulózy jsou v porovnání s celulózou složitější heteropolysacharidy jejich enzymatické štěpení probíhá snáze a rychleji. Metanogenezi fytomasy výrazně ovlivňuje stupeň signifikace buněčných stěn. Nejhůře rozložitelnou část rostlinných buněk tvoří lignin. Lignin se v anaerobních podmínkách téměř nerozkládá. Obalení celulózových struktur ligninem navíc omezuje přístup k enzymatické hydrolyze vlastní celulózy. To znamená, že nejenom vlastní obsah lignínu, ale i jeho stupeň asociace s polysacharidy určuje míru anaerobní rozložitelnosti fytomasy. Obsah ligninu a stupeň asociace s polysacharidy se obecně zvyšuje se stárnutím rostlin. Nevýhodou substrátů s dominantním obsahem sacharidů je nižší obsah metanu ve vznikajícím bioplynu. Obsah metanu v bioplynu se u těchto substrátů pohybuje v rozmezí 50 - 55 %. Je to

jednotkách.

Naopak výhodou bioplynu z rostlinných materiálů je nízká koncentrace sulfanu, pohybující se řádově v desítkách miligramů v m³ bioplynu. Například u bioplynu z anaerobní fermentace kejdy prasat se koncentrace sulfanu pohybují v rozsahu 2000 - 5000 mg/m³. Sulfan má vysoce korozivní vlastností a vzniká v průběhu anaerobní fermentace ze sloučenin obsahujících síru.

Produktivitou lučních porostů a jejich využitím k produkci bioplynu se zabývá řada autorů, mezi nejzajímavější práce patří Moeller, Nielsen, a Christensen (2007). Z porovnání metlicové a chrasticové louky vyplývá produkce metanu cca 250 a 310 litrů metanu na kilogram organické hmoty. Druhé sklizně vykazují nižší výtěžnost bioplynu. Ačkoliv produkce bioplynu je vyšší u kukuřice, energetická bilance (poměr energetické spotřeby při pěstování a energie získané) u kukuřice a extenzivních lučních porostů dává možnost obě skupiny porovnat. Navíc vlhkostní až mokřadní travní společenstva působí jako živinová past (nutrient trap). Autoři hodnotí i možnost dodatečného hnojení draslíkem, které zlepšuje výtěžnost bioplynu u travních porostů. Dle údajů autorů zajistí hektar draslíkem hnojeného lučního porostu produkci až 76 GJ / ha což odpovídá více než 2000 litrům nafty a je srovnatelná s produkcí energie z kukuřice.

Chrastice rákosovitá, která se často objevuje u podmáčených luk, patří k nejproduktivnějším travním druhům podmáčených stanovišť, výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru (Regal, 1953 in Hlávková, 1980), při hnojivé závlaze až 20 t sena z hektaru (Regal, 1953 in Hlávková, 1980). Vysoká produkce i nenáročné stanovištní podmínky předurčují dnes chrastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské země již cíleně pěstují chrastici rákosovitou pro výrobu pelet, uváděné výnosy jsou 3 – 5 tun sena z hektaru za rok ve Švédsku, 11 – 19 tun sena z hektaru za rok ve Švýcarsku, 16 tun sena z hektaru za rok ve Velké Británii. Hodnota čistého tepelného zisku dosáhla hodnot 17,9 MJ z kilogramu sušiny. Pro sklizení je nejvhodnějším obdobím počátek jara, vzhledem k vysoké sušině biomasy.

Pěstováním chrastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce Strašila, Váni a Káše (2005), kteří uvádějí výnosy chrastice rákosovité. Pro nehnojené plochy získali průměrné výnosy 4,60 – 8,45 t sušiny.ha⁻¹, u porostů hnojených 30 kg N.ha⁻¹ výnosy 5,74 – 9,02 t sušiny.ha⁻¹ a u porostů hnojených 60 kg N.ha⁻¹ pak výnosy 6,94 - 10,04 t sušiny.ha⁻¹.

sušiny spotřebuje rostlina 700 – 800 l vody (Klesnil, Regal, Prajzler, 1973 in Hlávková, 1980). Velice dobře snáší i dlouhodobé zaplavení, Regal uvádí 30 dní (Regal, 1953 in Hlávková, 1980), ostatně je dnes často využívána v kořenových čistírnách odpadních vod.

Využitím biomasy travních porostů z údržby krajiny se zabývali (Prochnow et al., 2005). Všímají si rozdílného složení travní biomasy sklizené v rozdílném období, jak ukazuje tabulka č. 2.

Tab. 2 Složení fytomasy z údržby krajiny sklizené v různém období (Prochnow et al., 2005)

| Parametr | jednotka | Červen | Únor |
|----------------|-----------------|--------|------|
| Celková sušina | % čerstvé hmoty | 18 | 75 |
| Hrubý protein | % TS | 15 | 4 |
| Vláknina | % TS | 23 | 55 |
| Sacharidy | % TS | 7,3 | 0,5 |
| Tuky | % TS | 1,9 | 0,3 |
| C:N | - | 20:1 | 75:1 |

Práce se dále zabývá porovnání různých druhů substrátů – kukuřicí, intenzivně pěstovaných travních porostů, jetelotravních směsí, extenzivních travních porostů a travních porostů z údržby krajiny. V závěru uvádějí porovnání specifické výtěžnosti metanu u různých porostů (Tab. č. 3)

Tab. 3 Výtěžnost bioplynu z různých substrátů (Prochnow et al., 2005)

| Plodina | Komentář | Výtěžnost metanu (m ³ /ha/rok) |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---|
| Kukuřice | Různé odrůdy, silážovaná | 4 400 – 10 000 |
| | Různé odrůdy, silážovaná nebo čerstvá | 3 743 – 8 529 |
| Pšenice | | 2 960 |
| Vojtěška | | 3 965 |
| Jetel | | 2 530 |
| Jílek | | 4 060 |
| Intenzivní jetelotravní krmné směsi | 2,5 – 14 t VS/ha | 743 – 5 180 |
| Tráva z údržby krajiny | Sklizeň v září | 1 604 |

| Substrát | Výnos (t TS.ha ⁻¹) | Potenciál CH ₄ (m ³ .ha ⁻¹ .rok ⁻¹) | Energetický potenciál (MWh.ha ⁻¹ .rok ⁻¹) |
|---------------------|-----------------------------------|---|---|
| Bojínek-jetel | 8-11 | 2900-4000 | 28-38 |
| Chrastice | 9-10 | 3800-4200 | 37-41 |
| Trávník | 2 | 500 | 5 |
| Jetel | 5-7 | 1400-1900 | 13-18 |
| Vikev-oves směs | 5-7 | 1900-2600 | 18-25 |
| Lupina | 4-7 | 1300-2300 | 13-22 |
| Topinambur | 9-16 | 3100-5400 | 30-53 |
| Křídlatka | 15 | 3800 | 36 |
| Kopřiva | 6-10 | 2200-3600 | 21-35 |
| Rebarbora | 2-4 | 800-1700 | 8-16 |
| Kapusta | 6-8 | 1700-2300 | 17-23 |
| Zbytky cukrové řepy | 3-5 | 900-1500 | 8-14 |

Mänhart, Heiermann a Linke (Mänhart et al., 2005) se zabývali porovnáním výtěžnosti bioplynu z různých typů travních porostů. Pro testy použili jak čerstvou biomasu jednotlivých druhů, tak připravenou siláž jednotlivých druhů i směs. Chemické analýzy biomasy neprokázaly výrazné rozdíly mezi jednotlivými druhy jak v podobě čerstvé biomasy, tak u siláže.

Tab. 5 Složení směsné siláže (Mänhart et al., 2005)

| | TS (% FM) | VS (% FM) | VFA (g.kg ⁻¹ FM) | pH | C:N | XP (% FM) | XF (% FM) | Sachari de (% FM) | XL (% FM) |
|--------------|--------------|--------------|-----------------------------------|-----|------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|
| Silážní směs | 24,2 | 90,0 | 0,6 | 6,9 | 15,1 | 17,4 | 29,5 | 12,7 | 2,4 |
| Hněj | 6,5 | 80,0 | 7,9 | 6,8 | -- | -- | -- | -- | -- |

TS – Total solids, VS – Volatile solids, VFA – Volatile fatty acids, XP – Crude protein, XF – Crude fibre, XL – Crude fat.

Provedené laboratorní analýzy produkce bioplynu u batch vsádky neprokázaly významné rozdíly ani mezi jednotlivými druhy ani mezi čerstvou a silážovanou biomasou. Nejvyšší produkci bioplynu z organické sušiny (oTS) vykázala biomasa jílku vytrvalého (0,83 a 0,86 m³.kg⁻¹) pro čerstvou a silážovanou biomasu, nejnižší pak srha (0,72 a 0,65 m³.kg⁻¹) pro čerstvou a silážovanou biomasu. Autoři ovšem zdůrazňují, že rozdíly mezi opakováními byly významnější než mezi druhy samotnými.

Obsah metanu v produkovaném bioplynu rostl během prvních dní experimentu (doba experimentu 28 dní) až se ustálil na hodnotě 66 – 71 % zhruba uprostřed experimentálního období. Průměrné hodnoty produkce metanu (0,31 – 0,36 m³.kg⁻¹) jsou v souladu s měřeními jiných autorů.

biomasy jílku ($342 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ oTS) je vyšší než v případě čerstvé biomasy ($229 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ oTS). Maximální zaznamenaná produkce metanu představuje výtěžnost $3800 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, což převedeno na elektrickou energii může produkovat $11,7 \text{ MWe} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Amon a kol. (2004) uvádí, že produkce bioplynu z nejpoužívanější plodiny, kukuřice, nejvíce závisí na obsahu bílkovin, tuku, celulózy, hemicelulózy a škrobu. V závislosti na prostředí mohou porosty kukuřice zajistit produkci vyšší než $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Za optimální pro produkci bioplynu považuje autor C:N=10-30.

Pro jetelo-travní siláž uvádí autor produkci metanu $290 - 390 \text{ NI CH}_4 \cdot \text{kg}^{-1}$.

V rámci projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ řeší autoři dílčí úkol Technicko ekonomické posouzení anaerobní fermentace fytomasy, v jejímž rámci se zaměřují na efektivitu využívání biomasy TTP. Pro srovnávací analýzy produkce bioplynu v laboratorních i čtvrtprovozních testech je využívána biomasa z oblastí Třeboňské a Českobudějovické pánve, Nohovhradských hor a Českomoravské vysočiny. Dle katalogu biotopů náleží jednotlivé lokality do skupin: mezofilní ovsíková louka, intenzivně obhospodařovaná louka, vegetace vysokých ostřic a aluviální psárková louka. Pro porovnání je zpracovávána rovněž silážovaná kukuřičná biomasa.

Metodika provádění testů a vyhodnocení výsledku je v souladu s mezinárodně uznávanou německou normou pro testování vody, odpadní vody a kalů, kalů a sedimentů s modifikacemi s. No. 2.6.4. - 2.6.11 (DIN 38414, 1985-06).

Práce je řešena v rámci projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ MŠMT.

Literatura

Alberda, T. (1980): Possibilities of dry matter production from forage plants under different climatic conditions. In: Proc. XIII Int. Grassland Congress, Berlin, s. 61–69.

Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Pötsch, E. (2004): Biogas production from maize and clover grass estimated with the methane energy value system.. In: EurAgEng: AgEng2004 Engineering the Future, 12 – 16 September 2004, Leuven, Belgium.

Baserga, U., (1998): Co-Verdahrung - Biogas aus organischen Reststoffen und Energiergras. Schweizer Landtechnik, , č. 6.

Greenfinch Ltd. (2005): Rye-grass as an Energy Crop Using Biogas Technology. Project Summary No. PS239.

Hlávková, H. (1980): Produkce některých bylinných druhů mokřadních ekosystémů. Diplomová práce. Praha, VŠZ.

Lehtomäki, A. (2006): Biogas production from energy crop and crop residues. Disertační práce. Jyväskylä, University of Jyväskylä.

Mänhart, P., Heiermann, M. and Linke, B. (2005): Batch and Semi-continuous Biogas Production from Different Grass Species. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 05 010. Vol. VII.

Møller, H. B., Nielsen, L., Christensen, T.B. (2007): Biogas production from different types of biomass and grass species from meadows. Nordic Association of Agricultural Scientists, Copenhagen, 87-88, 2007.

Prochnow, A., Heiermann, M., Drenckhan, A., Schelle, H. (2005): Seasonal Pattern of Biomethanisation of Grass from Landscape Management. Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal. Manuscript EE 05 011. Vol. VII. December.

Rychnovská, M., Balátová, E., Úlehlová, B., Pelikán, J. (1985): Ekologie lučních porostů. Academia Praha., 291 s.

Stražil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): The reed canary grass (*phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. Res. Agr. Eng., 51 (1): s. 7-12.

10 LITERATURA

Doušová, Z. 2011, Využití a význam energie získané pomocí slunečních a větrných elektráren na území České republiky. Diplomová práce (vedoucí J. Pokorný). Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra ekologie krajiny

Jirka, V. (ed.) 2009, Skleněné rastry pro stavebnictví a architekturu – využití v modulárním skleníku v Třeboni. 303 stran, ČVUT Praha, ENKI, o.p.s. Třeboň

Kajan, M.; Lhotský, R. 2008, Anaerobní fermentace rostlinné biomasy.– In: Havlíčková K. a kol.(eds.): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ. Průhonice str. 45-60

Pokorný, J., Šarapatka, B. 2010, Energie v Agroekosystémech. In: Šarapatka, B. a kol. Agroekologie, východiska pro udržitelné zemědělské hospodaření. Bioinstitut, o.p.s. Olomouc 2010, str. 120 – 137

Případné dotazy směřujte na
enki@enki.cz

POZNÁMKY