Název : **VYUŽITÍ OZE V ENERGETICKÉM ZÁSOBOVÁNÍ BUDOV**

Zodpovědný řešitel : Petr KRAMOLIŠ

Spolupráce : Doc.ing.Mojmír VRTEK PhD.

Tel. : +420 596 927 121
Fax. : +420 596 913 265
e-mail : kramolis@mybox.cz

Oponent : Ing.Irena PLOCKOVÁ

ANOTACE :

Publikace poskytuje odborné informace o možnostech využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) v budovách. Popsány jsou nejen nově využívané zdroje jako solární energie (termická i fotovoltaická), biomasa ve formě pelet a štěpky, kombinovaná výroba elektrické energie a tepla (KVET), ale také perspektivní zdroje jako jsou palivové články.

Zvýšená pozornost je věnována přírodním zdrojům těchto energií, neboť kvalitní návrh musí vycházet z reálných možností. Popsány jsou zdroje solární energie, její časové rozložení a energetické hodnoty a vlastnosti. U biomasy jsou uvedeny dnešní možnosti jejího získávání a kvalitativní parametry včetně vlhkosti. U palivových článků i KVET je nejběžnějším zdrojem dobře známý zemní plyn. V blízké budoucnosti se uvažuje s využitím bioplynu nejen ze zemědělských bioplynových stanic, ale také komunálních. V současné době se začíná uvažovat o využití mikroštěpky v peletových kotlích, což by dále snížilo provozní náklady. První zkoušky jsou slibné.

U všech OZE jsou uvedeny ukazatele pro předběžný návrh a jejich meze použití. Těžiště těchto informací je ve formě grafů a tabulek, které jsou přehledné pro všechny účastníky výstavby.

U všech obnovitelných zdrojů energie jsou uvedeny ekonomické ukazatele. Kromě širšího rozsahu finančních parametrů v textu, byly zprůměrované hodnoty uvedeny v přehledu, který byl pro lepší orientaci umístěn v závěru druhé kapitoly. Přehled dává rychlou a dobrou orientaci ohledně všech OZE. Pro podrobnější a přesnější posouzení je však nutno postupovat individuálně podle reálných dispozic umístění posuzovaného zdroje.

Publikace pomáhá naplnit směrnici 2002/91/ES čl.5 a 6 o energetické náročnosti budov, transponovanou do novely zákona 406/200 Sb. nyní pod č.177/2006 Sb. Důraz byl kladen na využitelnost návrhů řešení při energetických auditech a zlepšování provozních nákladů staveb.

Publikace je určena pro poradenskou činnost ČEA, auditory a poradenská střediska EKIS ČEA, energetické konzultanty, státní a místní správu, projektanty a investory.

OBSAH

1 ÚVOD 4
2 OBNOVITLNÉ ZDROJE ENERGIE 4
2.1 SROVNÁNÍ EKONOMICKÝCH UKAZATELŮ JEDNOTLIVÝCH OZE 6
3 ZABEZPEČENÍ DODÁVEK ENERGIE PRO BUDOVY 9
4 NÁVRH VYBRANÝCH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ 9
5 VLIV OZE NA PROVOZNÍ NÁKLADY BUDOV 10
6 SNÍŽENÍ EMISÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ 12
7 CELOŽIVOTNÍ CYKLUS HODNOCENÍ OZE 15
8 REALIZACE STAVEB S INTEGRACÍ OZE 16
8.1 ČESKÁ REPUBLIKA 17
8.2 EVROPA 21
9 VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE 22
9.1 TERMÁLNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY 22
9.1.1 Sluneční záření 23
9.1.2 Solární záření na území ČR 26
9.1.3 Způsoby využití solární energie 28
9.1.4 Solární kolektory 29
9.1.5 Koncepce solárních soustav 34
9.1.6 Rozdělení solárních soustav podle průtoků 37
9.1.7 Akumulace tepla 38
9.1.8 Teplonosná media 40
9.1.9 Speciální solární soustavy 42
9.1.10 Návrh solárního systému 47
9.1.11 Investiční náklady 51
9.1.12 Provozní náklady 52
9.2 FOTOVOLTAIKA 52
9.2.1 Úvod 52
9.2.2 Princip a funkce 52
9.2.3 Základní typy fotovoltaických článků 54
9.2.4 Typy nasazení FV systémů 55
9.2.5 Umístění, orientace FV panelů 56
9.2.6 Ekonomika 56
9.2.7 Výkupní ceny 57
9.2.8 Příklad instalace 58
10 VYUŽITÍ BIOMASY 61
10.1 BIOMASA A JEJÍ VLASTNOSTI 61
10.1.1 Vlastnosti dřevní hmoty 62
10.2 PELETY 66
10.3 ŠTĚPKA 68
10.3.1 Vlastnosti štěpky 68
10.3.2 Sušení štěpky 73
10.3.3 Brikety 74
10.3.4 Zdroje štěpky 74
10.3.5 Lesní těžba 75
10.4 TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVÁNÍ BIOMASY 77
11 PALIVOVÉ ČLÁNKY 83
12 KOMBINOVANÁ VÝROBA EL. A TEPLA (KOGENERACE) 88
13 VLIV ÚSPOR TEPLA NA OZE 94
14 ZVÝŠENÍ PODÍLU OZE V BUDOVÁCH A DECENTRAL.SYST. 97

Zkratky z dotčených oborů :

ČEA	Česká energetická agentura
EKIS	Energetické konzultační a informační středisko ČEA
ESF	Energy Savings Fund (phare) – Fond energetických úspor (Phare)
EEBW	Energy Efficiency Bussiness Week, pravidelná konference a výstava o úsporách energie (Praha)
GEF	Global Environmental Fund – Světový fond životního prostředí
IEA	International Energy Agency – Mezinárodní energetická agentura
OECD	Organizacion for Economic Cooperation and Developement – Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj
SFŽP	Státní fond životního prostředí
SEVEn, o.p.s	Středisko pro efektivní využívání energie
UNEP	United Nation Environmental Programme – Environmentální program OSN
ALTENER	Program EU na podporu obnovitelných zdrojů energie
AIJ	Activities Implementation Jointly – Aktivity realizované společně
JI	Joint Implementation / Společná realizace (obchodování s emisemi skleníkových plynů)
BAT	Best Accessable Technology – Nejlepší dostupná technologie
CHP	Combined Heat and Power – kombinovaná výroba elektřiny a tepla
CZT	Centralizované zásobování teplem
EDR	Ekologická daňová reforma
EPC	Energy Performance Contracting – (forma řízení a financování energetických úspor, kde je počáteční investice splácena budoucími ušetřenými náklady na energii)
ESCO	Energy Service Company – podnik energetických služeb
MEŘO	Methylester řepkového oleje
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR
MŽP	Ministerstvo životního prostředí ČR
NGO	Non-governmental organisation – nevládní organizace
NED	Nízkoenergetický dům
OPET	Organisation for the Promotion of Energy Technologies (FEMOPET – Fellow member of OPET)
OZE	Obnovitelný zdroj energie
PEZ	Primární zdroj energie
R&D	Research and development (výzkum a vývoj)
RES	Renewable Energy Sources – Obnovitelný zdroj energie
RET	Renewable Energy Technology – technologie pro využívání obnovitelných zdrojů energie
TUR	Trvale udržitelný rozvoj
SME	Small and Medium Enterprizes – malé a střední podniky
ERÚ	Energetický regulační úřad
VaV	Věda a výzkum (výzkum a vývoj)
Backstop	Technologie využívání např.obnovitelných zdrojů – viz str.6
TV	Teplá vody (dřívější značení TUV)

1 ÚVOD

Účelem příručky „Využití OZE v energetických zásobováních budov“ je vytvořit informační podporu pro energetické poradce ČEA a dále seznámit projektanty, techniky, stavebníky, provozovatele staveb s výrazně nízkou spotřebou energie a využíváním obnovitelných zdrojů energie (dále OZE).

Trvale udržitelné systémy uvedené v této publikaci jsou zaměřeny na využití obnovitelných energií, snižování emisí skleníkových plynů jakož i zvýšení spolehlivosti zásobování energiemi budov. Zvyšování podílu OZE v budovách není jen věcí energetických poradců a projektantů, ale všech účastníků výstavby vč.techniků na různých stupních řízení. Je podmíněno efektivnějším využíváním energie v budovách na základě navržených a realizovaných úsporných opatření ve stavební a technologické části projektů. Takový postup umožní provozovatelům snížit nejen provozní, ale také investiční náklady.

Při zpracování byly využity také výsledky některých projektů, řešených v rámci IEA/ECBSC Task 26 Solar Heating and Cooling Programme. Kromě toho jsou zde uvedeny i informace o realizaci staveb s integrovanými systémy OZE v ČR a EU, a to v budovách pro bydlení a veřejný sektor.

Zaměření příručky vychází ze směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES z 16.12.2002 o energetické náročnosti budov, zvláště čl. 5 a 6. Tyto požadavky byly transportovány do novelizovaného zákona č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií pod č.177/2006 Sb..

Produkt zahrnuje řadu ukazatelů, vyhodnocení a pravidel pro posouzení systémů obnovitelných zdrojů a také předběžné návrhy OZE v budovách.

2 OBNOVITLNÉ ZDROJE ENERGIE

Původcem většiny energie spotřebované na Zemi je Slunce, které pomocí záření na Zemi vytvořilo v minulosti fosilní energetické zdroje (uhlí, ropu, zemní plyn) a dnes je původcem velké většiny obnovitelných energií. Pokud fosilní paliva spálíme, nebo jinak využijeme, již je nikdy nebudeme moci použít znovu. I radioaktivních prvků je jen konečné množství. Nezbývá než hledat další zdroje energie, tj.obnovitelné.

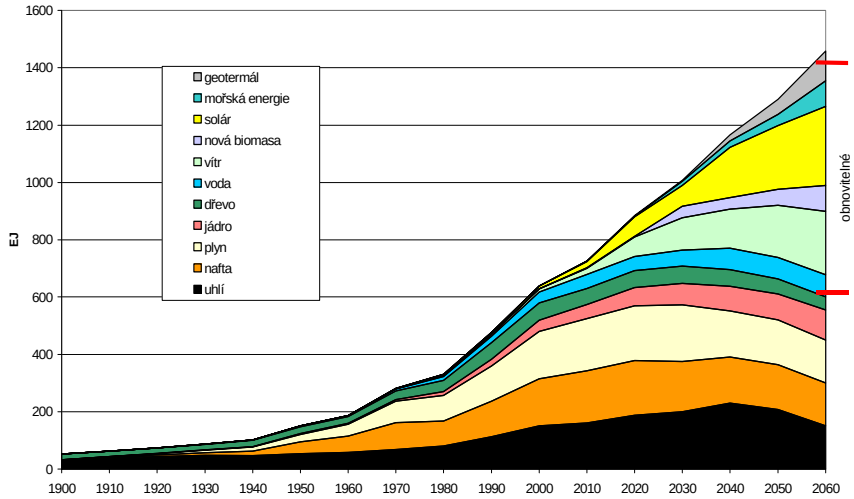
Nezbytnost přechodu systému zajišťujících zásobování lidských aktivit energií k využívání obnovitelných zdrojů vyplývá přímo ze základních přírodních zákonů. Pokud nebude tato cesta nastoupena (společně se splněním dalších podmínek z oblastí sociálních, ekonomických i politických), zcela nepochybně bude pokračovat proces snižování kvality života a degradace životního prostředí – atmosféry, biosféry, hydrosféry i geosféry. Tento proces přechodu nelze realizovat v krátkém ani středním období, pouze důsledná strategie v dlouhém období může být úspěšná.

Za podstatnou nevýhodu obnovitelných zdrojů energie bývá považována nízká hustota energie. Z hlediska přírodních zákonů a principů TUR (trvale udržitelný rozvoj) je tato vlastnost však jejich podstatnou výhodou a předurčuje OZE k tomu, aby se staly jedinými energetickými zdroji lidstva v budoucnosti. Využívání OZE, které představují volnou energii uvolněnou Sluncem, případně transformovanou /vítr, voda, biomasa/ odpovídá termodynamickým zákonům, neboť využívání jakéhokoli druhu vázané energie navyšuje entropii v ekosystému Země s těžko kvantifikovatelnými, nicméně značně citelnými dopady. Entropii si metaforicky můžeme představit jako jakousi přirozenou inteligenci vesmíru, jejímž prostřednictvím spěje vše k trvalé rovnováze /kterou ovšem z pohledu fyziky nazýváme tepelnou smrtí/. Lepší představou je možná přirovnání entropie k inflaci – tak jako se ekonomové snaží udržovat inflaci, coby degradující činitel

ekonomiky, na co nejnižší úrovni, ve vesmíru se přirozenými procesy udržuje nárůst entropie co nejnižší.

Přírodní zdroje energie jsou ty zdroje a síly přírody, které jsou či mohou být využívány člověkem, resp. lidskou společností k výrobě a spotřebě. Člení se na zdroje obnovitelné a neobnovitelné. Neobnovitelné zdroje jsou charakteristické svou vyčerpatelností a jejich čerpání a využívání je i při nejvyšší možné míře recyklace dlouhodobě neudržitelné[1]. Obnovitelné zdroje, neboli také zdroje přirozenými procesy se obnovující, je možné při rozumném způsobu hospodaření přiměřeně využívat dlouhodobě trvale udržitelně.

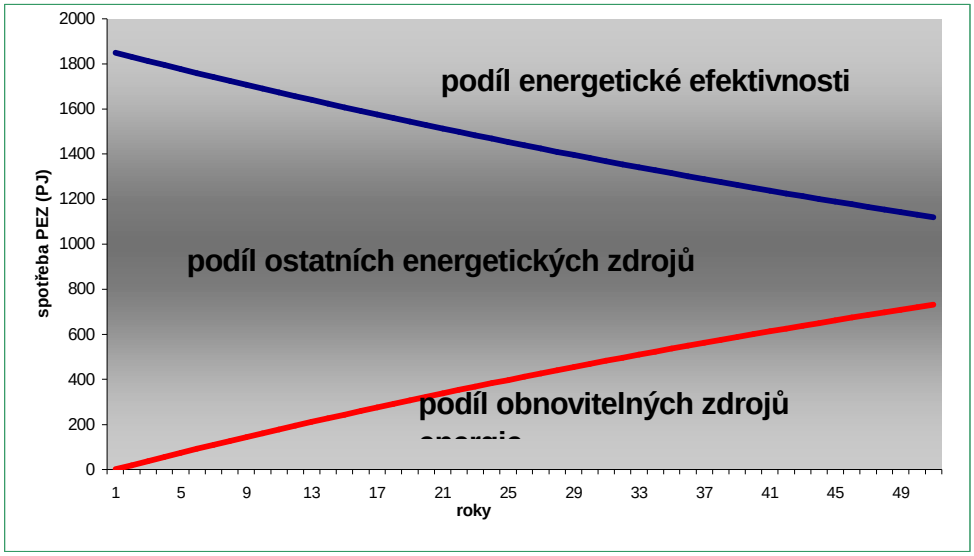
Pro využívání neobnovitelných přírodních zdrojů je typické, že nejprve jsou ve většině případů těžena ložiska s nižšími náklady. V okamžiku, kdy je toto ložisko vyčerpáno, je zahájena těžba ložiska s vyššími náklady. Je zřejmé, že jak cena omezeného zdroje roste, objevují se také substituty tohoto zdroje. **Backstop** technologie je případem „zdroje“ s vysokými produkčními náklady, který se ekonomicky neprosadí dříve, než v okamžiku, kdy jej dostihnou náklady na těžbu konvenčního zdroje. Použití termínu „**backstop**“, technologie zároveň předpokládá, že zásoba zdroje, který využívá, je prakticky neomezená – sama technologie se tak stává zdrojem. Existuje tudíž důvod považovat technologie pro využívání obnovitelných zdrojů za „**backstop**“ technologie. Lze usoudit, že přechod na využívání backstop technologií je možný prakticky v jakémkoli okamžiku, záleží pouze na ekonomickém porovnání dostupných alternativ. Nejprve je třeba si uvědomit, jaká je cena skutečná, cena konkurenčních technologií a cena „transakce“ přechodu z konvenčních zdrojů na uvažovanou (žádoucí) backstop technologii. Vzhledem k životnosti investic do využívání konvenčních neobnovitelných zdrojů je prakticky nemožné konkurovat těmto zdrojům alternativní technologií v okamžiku, kdy pracují na „zlatém“ konci svého životního cyklu. Možností, jak urychlit postup k efektivnějšímu využití přírodních zdrojů bez větších negativních externalit, je několik a měly by být využity synergicky. Předně je to důsledné uplatnění ekologické daňové reformy, které by mělo omezit čerpání neobnovitelných zdrojů s vysokými negativními externalitami. Dále je možné hovořit o cílevědomé podpoře vývoje nových šetrných technologií.



Graf 1 Scénář Shell – vývoj spotřeby prvotních energetických zdrojů

[1] Vzhledem k tomu, že prakticky veškerá světová zásoba fosilních energetických zdrojů vznikla přirozenými procesy v období prvohor, řádově před 400 – 250 milióny let, za velmi specifických podmínek, je jejich neobnovitelnost zřejmá. Využívání těchto zdrojů má však mnohem závažnější aspekt. V době, kdy se tyto zdroje vytvářely z nahromaděné nekromasy (podle biogenní teorie) složitými biochemickými procesy a následnou geochemickou přeměnou, staly se *de facto* přirozenými rezervoáry oxidu uhličitého, čímž v průběhu několika desítek miliónů let snížily obsah tohoto plynu v atmosféře.

Na základě faktů z oblasti vývoje energetiky a sociálního a technologického vývoje a analýzy ostatních determinantů rozvoje lze vytvořit realistický pohled na možný vývoj zabezpečení energetické potřeby v ČR. Tento alternativní scénář má samozřejmě obecnou platnost a lze jej při současném stavu technologií a jejich trendu velmi dobře uplatnit kdekoliv ve světě. Scénář je založen na předpokladu, že spotřeba primárních energetických zdrojů, resp. poptávka po nich, bude v budoucnu přibližně zachována, tj. ani neporoste, ani nebude výrazně klesat. O zabezpečení strany nabídky k této poptávce budou společně usilovat pouze vzájemně se doplňující opatření snižující energetickou náročnost (úspory) a obnovitelné energetické zdroje. Vzhledem k „nízkopotenciálovému“ charakteru energie získávané prostřednictvím obnovitelných zdrojů energie není možné a ani žádoucí snažit se jimi uspokojit poptávku v celé výši. Tato vlastnost zároveň předurčuje obnovitelné zdroje pro decentralizované využití.



Graf 2 : Alternativní scénář vývoje energetiky

Vztah energetických úspor a obnovitelných zdrojů energie

Jednou z klíčových oblastí, již je nutno zcela přesně a jednoznačně definovat, je vzájemný vztah úspor energie a obnovitelných zdrojů energie. Tato otázka je důležitá nejen pro určení pozice OZE, ale také pro určení technických a ekonomických vazeb v energetice obecně (viz kap. 7, 10, 11).

2.1 SROVNÁNÍ EKONOMICKÝCH UKAZATELŮ JEDNOTLIVÝCH OZE

Jako každý zdroj energie mají i obnovitelné zdroje energie své výhody i nevýhody. Posuzovat v absolutním měřítku tyto zdroje nelze, neboť lokální podmínky některé zdroje zcela vylučují, i když by podle ekonomických ukazatelů byly výhodné.

V některých případech vysoké investiční náklady vyrovnají extrémně nízké provozní náklady a minimální obsluhu. Dotace sehrávají významnější roli u zdrojů s vysokými měrnými investičními

náklady a nižším ročním využitím. U palivových článků a kogenerace se tento vliv výrazněji neprojeví, neboť roční využití se blíží teoretickému maximu.

Náklady na jednotlivé zdroje jsou poměrně variabilní, což závisí na konkrétní realizaci. Aby mohly být porovnávány, byly určeny průměrné náklady. Dotace se liší podle jednotlivých fondů a také podmínek pro konkrétní rok. Zde byla započtena 30% podpora z uznatelných nákladů a 40% pouze u solárních termických systémů.

Investiční náklad na vyrobený GJ je ve velké míře závislý na provozních podmínkách, zvláště u kotlů na biomasu. Kromě toho je nutno brát v úvahu pokles cen u nových technologií a naopak inflaci u standardních zdrojů.

Důležité je upozornit, že cena tepla není cenou fakturační ve zdrojích, ale pouze součtem měrných investičních nákladů vypočtených z doby životnosti a poměrně přesných provozních nákladů bez režií, pojištění, pracovních sil apod. Podstatná je stejná metodika pro všechny zdroje a tím možnost porovnání.

Z porovnání v tabulce č.38 je vidět, že investičně nákladné zdroje mají příznivou cenu tepla, jelikož mají velmi vysoké roční využití. Zatím bohužel nelze započíst ekologické přínosy, neboť nejsou stanoveny přesné náklady. Studie Centra pro otázky životního prostředí UK Praha ukázala, že současné ceny elektřiny jsou nižší než poloviční ve srovnání se skutečnými společenskými náklady na výrobu.

Tento nedostatek je vyrovnán dotacemi a proto by měly být do hodnocení započítávány. Jinak jsou hodnocení zkreslená a zavádějící.

Pro srovnání je možno uvést cenu tepla ze zemního plynu, vypočtenou stejnou metodikou jako v tabulce č. 38 ve výši 300 – 350 Kč/GJ podle ceny zemního plynu a typu odběratele. Ceny tepla z OZE, srovnávané stejnou metodikou nejsou nevýhodné, ale naopak společensky prospěšnější.

Tab. č. 38

Kap.	Specifikace OZE	Uvažovaná velikost zdroje	Investiční náklad na instalovaný kW		Investiční náklad na vyrobený GJ		Provozní náklad na vyrobený GJ	Cena vyrobeného tepla GJ	
			bez dotací	s dotací	bez dotací	s dotací		bez dotací	s dotací
			tis.Kč/kW	tis.Kč/kW	Kč/GJ	Kč/GJ	Kč/GJ	Kč/GJ	Kč/GJ
3.1	Solární termální systém [1)]	50 m^2	27,7	11,2	455,-	180,-	28,-	483,-	208,-
		200 m^2	21,5	8,6	338,-	135,-	24,-	362,-	159,-
3.2	Fotovoltaické solár.systémy	20 kW_p	240	110	4 680,-*	2 140,-*	32,-	4 712,-	2 172,-
4.2	Biomasa-pelety [2)]	50 kW	4,8	3,1	42,-	27,-	230,-	272,-	257,-
4.3	Biomasa-štěpka [3)]	400 kW	5,7	3,9	50,-	34,-	145,-	195,-	179,-
5	Palivové články [4)]	150 kW	32	18	132,-º	74,- º	34,-	166,-	108,-
6	KVET(kogenerace) [5)]	300 kW	26	15	68,-	39,-	96,-	164,-	135,-

º Vyrobená el.energie přepočtena na teplo
* Ceny vycházející z měr.nákladů na 1kW, který je 16,80 resp. 7,70 Kč/kWh (16 800 a 7 700kč/MWh)
1) Solární sytém se selektivní abs.plochou a měr.ziskem 440 kWh/m^2r (50m^2) a 460 kWh/m^2r (200m^2). Doba provozu 25 let.
2) Cena pelet 3 600,-Kč/t, η=85%, výhřevnost18,5 MJ/kg, životnost 15 let
3) Cena štěpky 1 250 Kč/t, η=85%, vlhkost 40%, výhřevnost 10,1 MJ/kg, životnost 15 let
4) Palivový článek PAFC, 150 kW, $\eta_{el.}$ 40%, životnost 10 let
5) Investice vč.vyvedení el.výkonu, $\eta_{celk.}$ 87%, palivo ZP, životnost 15 let vč.generálních oprav

3 ZABEZPEČENÍ DODÁVEK ENERGIE PRO BUDOVY

Jistota a spolehlivost dodávek energií začíná být s ohledem na lokaci fosilních zdrojů paliv vážným problémem. Předvídat ceny a množství dodávek je obtížné, ne-li nemožné. Za této situace se zdá strategie EU velmi rozumná, neboť preferuje úspory energie, obnovitelné zdroje a pokud možno evropské zdroje energií. Tento trend je pomocí legislativy přenášen na všechny členské země.

Z těchto důvodů se začíná v ČR řešit také „Zajištění přiměřené energetické soběstačnosti“. V první polovině 20.stol bylo v tehdejším Československu velké množství malých decentralizovaných zdrojů el.energie i tepla. Tyto zdroje dnes již samozřejmě většinou neexistují. Při výpadku el.sítě event. více zdrojů je situace ztěží řešitelná. Vzhledem k těsné provázanosti může dojít na základě „dominového efektu“ k zhroucení celé soustavy.

Zajištění bezpečnosti dodávek je úlohou vlády, avšak při nastupující privatizaci zvláště energetiky se riziko bezpečného zásobování zvyšuje. Kromě speciálních celospolečenských postupů, které řeší odborný tým, přicházejí v úvahu řešení technická na úrovni budov, event. malých sídelních celků. Vzhledem k tomu, že cílem této publikace je využití OZE v budovách, uvedeme právě tyto možnosti .

Zvolíme-li jako hlavní kritérium úplnou nezávislost na externích zdrojích, pak ideálními energiemi jsou pelety a solární energie. Výhodou je jejich ideální vzájemné doplňování. V podstatě i biomasa je konzervovaná sluneční energie s akumulací na několik let. Chceme-li být důslední, pak pomocnou el.energii pro pohony a řízení musíme zajistit ze zálohového zdroje event. akumulací, což představuje 1 – 4% z celkové vyrobené energie.

Je logické, že nelze tímto způsobem nahradit všechny malé zdroje, ale bylo by logické nové zdroje v budovách se sníženými potřebami tepla v co největší míře řešit na obnovitelné zdroje energie.

V malých obcích lze využívat dřevní štěpku, event. bioplyn a kogenerační výrobu elektřiny a tepla, jsou k tomu vhodné podmínky.

4 NÁVRH VYBRANÝCH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ

V současné době probíhá revitalizace celých panelových sídlišť. V jejich rámci jsou prováděna opatření, která vedou k úspoře provozních nákladů. Jedná se především o zateplení obvodového pláště a výměnu oken. Vodítkem pro návrh konkrétních úprav by měl být vždy energetický audit, kde návrh nových konstrukcí je proveden dle ČSN 73 0540-2, která byla naposledy novelizována v roce 2002. Požadavky na tepelně – technické parametry konstrukcí se tak poměrně razantně zpřísnily, takže úspory ve správně revitalizovaných domech jsou opravdu znatelné. Podívejme se nyní podrobněji na bytový dům, který byl uveden v příkladu č.1 v odst. 7 – na konkrétní opatření, která vedla ke snížení energetické náročnosti.

PŘÍKLAD Č.1 - BYTOVÝ DŮM Z ROKU 1958 (SOUSTAVA G-57), 33 BYTŮ

Č. opatření	Název opatření	Plocha zateplovaných konstrukcí	Jednotková cena*)	Výdaje na energet. úsporný projekt	Roční úspory		Prostá doba návratnosti
					energie	nákladů	
		m2	Kč/m2	tis. Kč	GJ/rok	Kč/rok	roky
Navržená úsporná opatření							
1	Zateplení obvodového pláště tepelnou izolací tl.80 a 100 mm	1 084,00	1 100,00	1 192,40	302,00	99,66	11,96
2	Zateplení obvodového pláště tepelnou izolací tl.100, 120 a 150 mm	1 084,00	1 300,00	1 409,20	336,00	110,88	12,71
3	Zateplení podlahy tep. Izolací tl. 60 mm	488,00	480,00	234,24	28,00	9,24	25,35
4	Výměna oken a balkónových dveří v bytech, ve schodištích a dveří ve vstupech	264,00	4 600,00	1 214,40	172,00	56,76	21,40
5	Úprava topné plochy a nové nastavení regulačního uzlu	-	-	52,00	-	-	-
6	Instalace regulace IRC na otopná tělesa	-	-	435,00	48,53	16,01	27,16
VARIANTA 1 opatření 1, 3, 4, 5		**-**	**-**	**2 693,04**	**502,00**	**165,66**	**16,26**
VARIANTA 2 opatření 2, 3, 4, 5		**-**	**-**	**2 909,84**	**536,00**	**176,88**	**16,45**

Poznámky k tabulce: **1. Cena tepla je uvažována ve výši 330,- Kč/GJ**

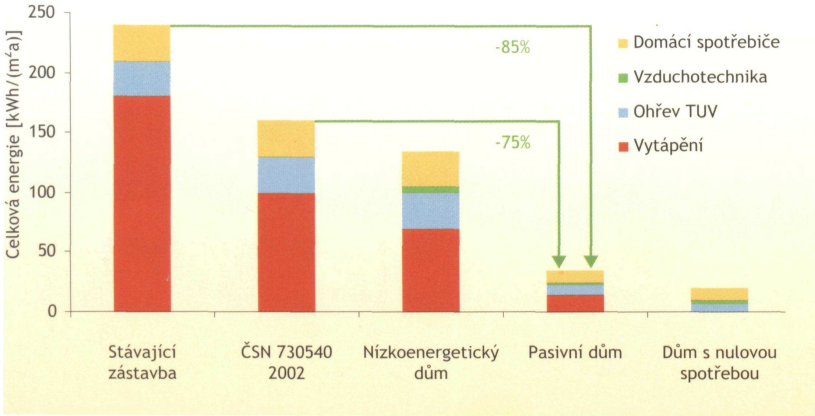
2. Dílčí návratnost opatření č.5 není samostatně vyčíslena, protože se jedná o nutnou úpravu stávajícího topného systému, aby mohl plnit svou základní funkci i po zateplení domu.

3. Opatření č.6, tj. instalace systému IRC na otopná tělesa není doporučeno k realizaci, protože jeho dílčí návratnost je delší než doba životnosti tohoto zařízení (toto opatření je možno realizovat kdykoli dodatečně – např. po razantním zvýšení ceny tepla).

Jak již bylo uvedeno v odst. 7, následným logickým krokem takto zrevitalizovaného domu je zřízení nového zdroje tepla na obnovitelné zdroje, zejména za splnění podmínek, které jsou podrobněji popsány v odst. 8..

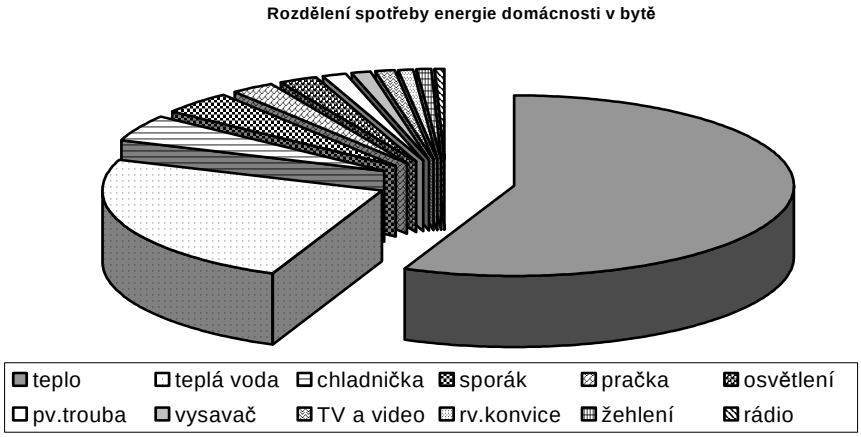
5 VLIV OZE NA PROVOZNÍ NÁKLADY BUDOV

Náklady na provoz budov převážně tvoří spotřeba energií. Je příjemnou skutečností, že v poslední době u nových staveb potřeba tepla výrazně klesla. U starší zástavby činí potřeba tepla 150 – 220 kWh/m^{2}r, uplatněním noveliz. ČSN 730540 / 2002 poklesla na cca 80 – 90 kWh/m^{2}r. Spotřeby v jednotlivých typech domů jsou na grafu č.16 vč.dalších potřeb domácnosti.



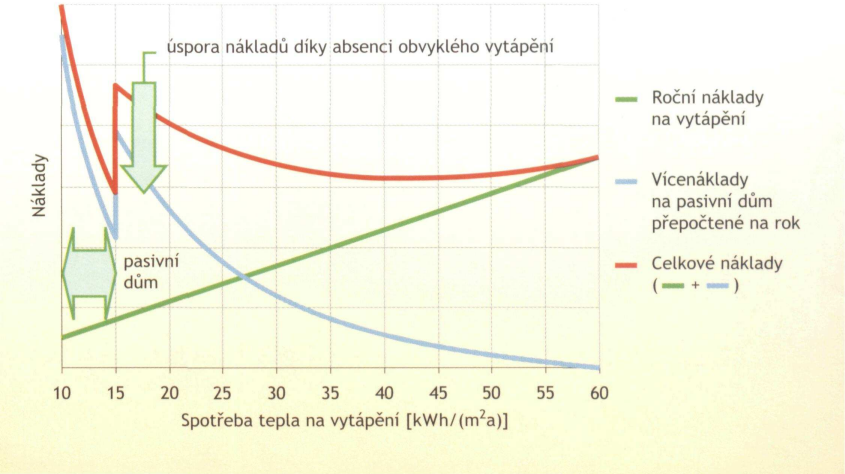
Graf 13 Celková potřeba energie budov

Rozložení spotřeby energií v běžných domácnostech stávající výstavby je vidět na dalším grafu č. 14 Teplárenského sdružení. Spotřeba teplé vody se bude samozřejmě lišit podle druhu obyvatel a životního standardu. Pro ilustraci je vidět, že vytápění a ohřev teplé vody činí cca 75 – 80% celkové potřeby energií.



Graf 14 Rozdělení spotřeby energie domácnosti v bytě

Z výše uvedených grafů je vidět, že zásadní vliv na náklady má spotřeba tepla, tzn. že prioritní jsou úspory. Množství ušetřené energie závisí zčásti na nákladech na zateplení objektu a zčásti na provozování topného systému (cca 15 – 25%). Vzájemná závislost provozních a investičních nákladů je vidět na grafu č. 15. Zlom v pořizovacích nákladech na 15 kWh/m^{2}r platí pro středoevropské klimatické pásmo a umožňuje ho možnost vyloučení klasického topného systému.



Graf 15 Náklady na výstavbu a provoz pasivního domu

Důvodem pro zavedení výstavby NE a pasivních domů není jen snížení nákladů na bydlení, ale zvláště snížení spotřeby neobnovitelných zdrojů energie, a tím i snížení emisí skleníkových plynů. Proto by bylo nelogické spalovat v těchto budovách fosilní paliva. Využití obnovitelných zdrojů je tedy přirozeným dokončením tohoto záměru s ohledem na ekologické souvislosti.

Cena tepla vyrobeného ze zemního plynu se v současné době pohybuje v rozmezí 320 – 370 Kč/GJ, cena tepla z pelet pak pouze ve výši 230 – 250 Kč/GJ tj. o cca 30 – 35 % nižší.

Cena tepla ze sluneční energie při vlastním provozu je velmi nízká neboť představuje pouze 3 – 5 % ze získaného tepla, tj. 25 – 30 Kč/GJ. Tuto cenu by zvýšily odpisy investičních nákladů, které jsou oproti klasickým zdrojům vyšší, na druhé straně produkují takřka čistou energii.

Připočteme-li odpisy standardního solárního systému o cca 100 m^2 abs.plochy bez dotací představuje to cca 430 Kč/GJ vyrobeného tepla. Při 60 % dotaci to činí 170 Kč/GJ. Celkové ceny pak budou 460 Kč/GJ (bez dotace) a 200 Kč/GJ (s dotací).

Souhrnně lze říct, že pro obytné budovy a komunální stavby připadají v úvahu z obnovitelných zdrojů hlavně pelety a solární energie. Pro solárně podporované vytápění se uvažuje pokrytí 20 – 30 % (podíl solární energie z celkové potřeby) u ohřevu teplé vody pak 45 – 60 %. Z toho je vidět, že z celkové potřeby OZE převyšují pelety – cca 80 % (pouze ohřev teplé vody) a cca 60 – 65 % (solární přitápění a ohřev teplé vody), které jsou nákladově nižší než zemní plyn.

Z toho vyplývá, že i při snížené potřebě tepla u nové výstavby obnovitelné zdroje sníží celkové náklady na vytápění o 20 – 30 %. U staré zástavby bude vyšší složka tepla vytápění peletami, neboť se nepočítá se solárním přitápěním, a tím i úspora cca 30 %.

Použití obnovitelných zdrojů v budovách (pelety + solární energie) je nejen ekologické, ale současně snižuje celkové náklady na vytápění o 20 – 30 %. Je výhodné je používat v souladu s novelou zákona 406/2000 Sb. ve znění 177/2006 Sb. všude tam, kde je to možné.

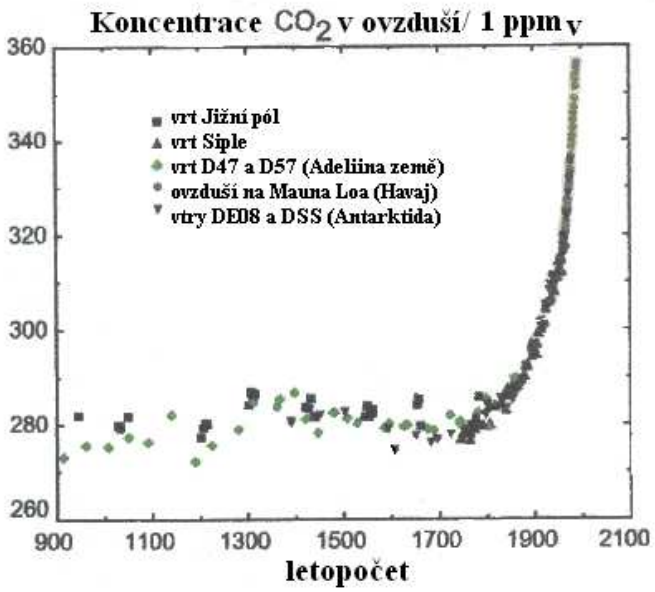
6 SNÍŽENÍ EMISÍ SKLENÍKOVÝCH PLYNŮ

Je zřejmé, že po snížení energetické náročnosti objektů, např. panelových domů po jejich komplexní revitalizaci a zateplení, dochází také ke snížení emisí produkovaných škodlivých látek vypouštěných do životního prostředí.

Jedná se především o tyto sledované látky:

- tuhé látky;
- organické látky;
- oxid siřičitý (SO_2);
- oxid uhelnatý (CO);
- oxidy dusíku (C_xH_y);
- oxid uhličitý (CO_2).

Zejména oxid uhličitý, kterého při spalování vlivem probíhající chemické reakce vzniká velké množství, patří mezi tzv. skleníkové plyny, které se hromadí v horních vrstvách atmosféry a způsobují tak změny klimatu na Zemi. Nejedná se však pouze o „pár stupňů tepleji nebo chladněji“, ale o skutečně závažný problém – viz *graf č.16* dále.



Graf 16 Koncentrace CO_2 v ovzduší

Na tomto grafu zachycujícím změny složení zemské atmosféry za posledních tisíc let je vidět prudký nárůst skleníkových plynů v průběhu posledních 200 let. Hyperbolický průběh strmě stoupající křivky čistě z matematického hlediska vždy končí nějakým kolapsem. V uzavřeném omezeném systému zdrojů, ve kterém se nalézáme, nemůže růst do nekonečna. Je zajímavé, že problém oteplování byl pojmenován již před sto lety, ale teprve před dvaceti lety se začal jevit jako opravdová hrozba.

Tento postupující trend má opravdu za následek změnu klimatických podmínek. Tak obrovský zásah do ekosystému musí vyvolat protireakce a rozkolísání, u kterých se těžko odhaduje,jak se projeví.

A právě použití biomasy při rekonstrukci zdroje tepla např. v souvislosti se zateplením domů přináší nejen snížení energetické náročnosti, ale také výrazné snížení emisí oxidu uhličitého, protože tento skleníkový plyn má při spalování tzv. „nulovou“ bilanci, tzn., že prakticky stejné množství oxidu uvolněného spálením se spotřebovává z atmosféry při fotosyntetických procesech tvorby rostlinné biomasy.

Podívejme se, jak vypadá bilance škodlivin u domu G-57, o kterém je zmínka v kapitole 7. a 10. v souvislosti se zateplením:

a) Před zateplením byl dům vybaven zdrojem tepla na zemní plyn, po zateplení jsou palivem pelety.
b) Před i po zateplení je dům vytápěn pomocí pelet.

ad a) Emise škodlivin při zateplení a změně paliva (zemní plyn / pelety)

Původní srovnávací stav (z.plyn):		1 246	GJ/rok	(40,7 tis. m3/rok)		
Nový stav (pelety):		744	GJ/rok	(47,3 t/rok)		
Tabulka: Zatížení životního prostředí - výchozí i nový stav						
Znečišťující látka	tuhé látky	SO_2	NO_x	CO	org. látky	CO_2
Opatření	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r
Výchozí stav	0,0008	0,0004	0,078	0,01301	0,0026	69,3
Nový stav	0,5924	0,0474	0,142	0,04739	0,0422	-
Tabulka: Snížení zatížení životního prostředí po rekonstrukci zdroje tepla						
Znečišťující látka	tuhé látky	SO_2	NO_x	CO	org. látky	CO_2
Opatření	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r
Nový stav	- 0,592	- 0,047	- 0,06	-0,03438	- 0,040	69,3

ad b) Emise škodlivin při zateplení se zachováním paliva, tj. pelet

Původní srovnávací stav (pelety):		1 246	GJ/rok	(79,4 t/rok)		
Nový stav (pelety):		744	GJ/rok	(47,3 t/rok)		
Tabulka: Zatížení životního prostředí - výchozí i nový stav						
Znečišťující látka	tuhé látky	SO_2	NO_x	CO	org. látky	CO_2
Opatření	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r
Výchozí stav	0,9920	0,0794	0,238	0,07936	0,0706	-
Nový stav	0,5924	0,0474	0,142	0,04739	0,0422	-
Tabulka: Snížení zatížení životního prostředí po rekonstrukci zdroje tepla						
Znečišťující látka	tuhé látky	SO_2	NO_x	CO	org. látky	CO_2
Opatření	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r	t/r
Nový stav	0,400	0,032	0,10	0,03197	0,028	-

Je zřejmé, že po rekonstrukci zdroje tepla ze zemního plynu na pelety dojde k mírnému zvýšení emisí ostatních škodlivin, nicméně snížení emise skleníkového plynu CO_2 je natolik významné, že tuto skutečnost mnohonásobně převýší (jedná se o 100-1000x větší množství ročně).

Poznámka: Ve vyhodnocení vlivu na životním prostředí v kapitole 12. jsou vzaty emisní limity dle Přílohy č.5 nařízení vlády č. 352/2002.

7 CELOŽIVOTNÍ CYKLUS HODNOCENÍ OZE

Metoda LCA nebo-li metoda posuzování životního cyklu (zkratka LCA je z anglického názvu Life – Cycle Assessment) je jedním z nejdůležitějších informačních nástrojů environmentální politiky. Používá se k určení negativních vlivů libovolného systému (výrobku nebo služeb) na životní prostředí.

Metoda LCA je založena na té skutečnosti, že stav životního prostředí je ovlivňován charakterem a množstvím látek a energie, jež jsou do životního prostředí vnášeny, popřípadě z něj odebírány. Z tohoto zjištění analogicky vyplývá, že negativní dopad na životní prostředí jakéhokoliv otevřeného systému, tzn. systému, který je se životním prostředím spojen látkovými a energetickými toky, což je každý výrobek nebo služba (obecně výrobkový systém), bude záviset na kvalitě a kvantitě látek (energie), jež tento výrobkový systém do životního prostředí vnáší (z hlediska systému jde o výstupy), popřípadě z něho odbírá (z hlediska systému jde o vstupy).

Vzhledem k tomu, že rozsah výrobkového systému není dán a může být různě velký, je před posuzováním negativního dopadu výrobkového systému na životní prostředí vždy zapotřebí jej určit, tzn. vymezit hranice pro látkové a energetické toky, které daný systém spojují s jeho okolím.

Můžeme posuzovat jen negativní dopad výroby nějakého materiálu (hliníku, oceli, vlny a pod.) nebo negativní dopad jeho používáním (např. používání auta, pračky, myčky nádobí), popřípadě porovnávat negativní dopady, které na životní prostředí budou mít různé způsoby likvidace výrobku po použití (skladování výrobku, spalování výrobku, recyklace výrobku) apod.. Jestliže chceme posoudit skutečný, celkový negativní dopad výrobku, tj. vliv výrobkového systému, který zahrnuje všechny fáze jeho života od získání surovin přes výrobu, užití a závěrečnou likvidaci, pak se hovoří o posuzování tzv. životního cyklu výrobku. Pro zdůraznění té skutečnosti, že původem základních surovin, které jsou zapotřebí k výrobě určitého výrobku je příroda, do které se tyto látky, i když v jiné formě, opět při likvidaci výrobku vracejí, se používá pojem „cyklus“.

Norma ČSN EN ISO 14040 definuje životní cyklus jako: **po sobě jdoucí provázaná stádia výrobkového systému od získání surovin nebo tvorby přírodních zdrojů ke konečnému zneškodnění.**

Postup provádění LCA

1. <u>fáze – stanovení cíle a vymezení rozsahu</u>
   Rozsah hodnoceného systému není normou dán. Určuje se dle individuálních požadavků. V případě, kdy by měla studie sloužit jako podklad pro další, navazující hodnocení, je velmi důležité stanovit rozsah jednotně. Pouze tak se zajistí porovnatelnost různých výrobků a služeb. V ideálním případě se hodnotí všechny fáze života od získání surovin až po zneškodnění nebo recyklaci.

2. <u>fáze – inventarizační analýza</u>
   Předem ohraničená část života výrobku nebo služby se rozloží na jednotkové procesy a mapují se toky mezi nimi. Důraz je kladen na toky jdoucí mimo výrobní systém. Jejich velikost se zjišťuje měřením, výpočtem nebo z literatury. Jednotlivé příspěvky se pak převádějí na jednoho společného jmenovatele. Pokud hodnotíme například emise, tak se jednotlivé složky převádí dle stanovených koeficientů na ekvivalent CO_2 pro hodnocení globálních dopadů a ekvivalent SO_2 pro lokální dopady.

3. <u>fáze – hodnocení negativních vlivů na životní prostředí</u>
   Porovnatelnost různých výrobků či služeb zajišťuje tzv. funkční jednotka, ta je měřítkem efektivity výrobku. K ní se pak vztahují negativní dopady na prostředí. Např. u zateplování

domů by u nejběžnějších energeticky úsporných opatření – jako jsou nové otvorové výplně a tepelné izolace – by bylo možné aplikovat měrný prostup tepla (W/m^2K) za jednotně stanovených podmínek. U zdrojů se pak jako měrná jednotka nabízí 1 kWh apod.

Náročnost podrobné analýzy životního cyklu je značná. Naprosto zřejmá je nemožnost a nepraktičnost tohoto hodnocení např. v jednotlivých energetických auditech. Přesto by bylo žádoucí vytvoření přehledu či veřejně přístupné databáze zahrnující nejběžnější typy opatření. Data a studie v této oblasti již existují, při jejich přebírání je však nutné ověřit, zda jsou aplikovatelné na české podmínky.

Nicméně, základní myšlenka metody LCA tj., posoudit produkt, činnost nebo nějaký systém od jeho vzniku až po jeho zánik z hlediska dopadu na životní prostředí, respektive i z jiného hlediska (dopad na zdraví člověka, na bezpečnost, na vznik rizika), by byla v praxi velmi užitečná. Dovoluje vybrat mezi alternativními výrobky ten výrobek, jehož životní cyklus bude nejméně poškozovat životní prostředí, po případě vhodně zkombinovat jednotlivé fáze životních cyklů.

Kdybychom naplno uplatnili metodu LCA na veškeré lidské výrobky a produkty, které přirozeně nemohou vznikat bez výroby a spotřeby energie, dojdeme k následujícímu závěru: na Zemi je možné trvale udržitelně žít jedině s takovou celkovou spotřebou energie, kterou nám ročně poskytuje Slunce. Uplatnění LCA vede tedy k úplnému obratu v myšlení i jednání. Je nutno uskutečnit kvalitativní změnu v dosavadním přístupu v řešení energetického problému. I kdyby byly využity veškeré možnosti obnovitelných zdrojů, není možno nikdy pokrýt současnou spotřebu (= plýtvání) zdroji neobnovitelnými. Zatím je pouze oddalován dopad platných fyzikálních zákonů o zachování hmoty a energie. Vezmeme-li v úvahu skutečný potenciál obnovitelných zdrojů, jediné řešení je v dlouhodobém trendu snížení spotřeby až na úroveň právě tohoto potenciálu. Skutečná diskuze by se – v celosvětovém měřítku – měla pohybovat na úrovni „jakými prostředky a za jak dlouho je toho možné dosáhnout“. Co je možné za 10, co za 50, co za 100 let a především, co je proto potřeba začít dělat. Klíčovým nástrojem pro skutečné nastartování tohoto procesu je právě metoda LCA.

8 REALIZACE STAVEB S INTEGRACÍ OZE

Smyslem využívání OZE je snížení spotřeby fosilních nosičů energie. Bez realizace není možné dosáhnout plánovaných závazků vůči EU a také cílů české energetické koncepce.

Česká republika se nachází na křižovatce ve využití energetických zdrojů. Doposud bylo preferováno především fosilní palivo, které však svojí technologií a koncepcí rozvoje nepřispívá k ozdravným ekonomickým nástrojům a procesům proklamovaným v řadě dokumentů, které se nás snaží přiblížit evropskému standartu přístupu k životnímu prostředí.

Spoléhání se na využívání tradičních zdrojů je cestou možná prozatím jednodušší, ale z vývojového hlediska ne příliš vhodnou. Ve vyspělých státech proces rozšiřování využitelných zdrojů již dávno nastal.

Potěšující je také nárůst realizovaných staveb, které snižují spotřebu energií a přitom využívají OZE. Dále je uvedena pouze část těchto zrealizovaných nebo dokončovaných staveb.

8.1 ČESKÁ REPUBLIKA

a) Středisko ekologické výchovy Sluňákov – Horka nad Moravou (okr.Olomouc)

Objekt střediska je navržen jako nízkoenergetický s měrnou spotřebou cca 25 kWh/m^2,r.

Nezvyklý výraz navrženého objektu je výsledkem procesu hledání nové formy ekologického domu. Domu, který se zapojuje do okolní přírody, využívá sluneční energie a chrání se pomocí zemního valu před nepřízní počasí. Počáteční forma byla inspirována tradičním venkovským stavením Hané, které bylo vždy stavěno přimknuté k zemi. Bylo dlouhé a horizontální. Uspořádání vnitřních prostorů bylo principielně jednoduché a snadno čitelné. Zakřivený tvar půdorysu domu je inspirován tvarem sluneční ekliptiky.

Zatravněná střecha je výraznou součástí urbanistického konceptu. Z ptačího pohledu je dům dokonale zapojen do krajiny a stává se její neoddělitelnou součástí.

Zadní část budovy nemá žádné solární zisky (kombinace masivních sekcí se zasypáním zeminou). Přední část budovy má solární zisky přes předsazený nevytápěný prostor. Chlazení této části je řešeno větráním přes zemní výměník umístěný v násypu zadní části stavby.

Vzhledem k tomu, že větší část budovy v zimním období není využívána plně, jsou topné a větrací systémy rozděleny na sekce. Pro vytápění bude přednostně využívána solární energie ze zásobníku, teprve při jejím nedostatku z kotlů na pelety. Maximální potřeba tepla na vytápění je 64 kW, větrání 14 kW a ohřev TUV 17 kW, celkem 95 kW. Dva kotle Ponast o jednotkovém výkonu 49 kW jsou zásobovány pneumatickou dopravou pelet z 1.patra.

Solární systém s Low-Flow průtokem o absorpční ploše 85m^2 slouží pro ohřev teplé vody a solární podporované vytápění. Centrem topného systému je akumulační zásobník o objemu 12,7m^3. Zde se ukládají solární zisky a také kotle pracují přes akumulaci a vytvářejí tak pohotovostní zásobu při malých odběrech tepla.

Celoroční pokrytí potřeby tepla pro ohřev teplé vody je uvažováno ve výši 67%, pro vytápění cca 20% podle vytížení střediska. Významnou roli zde hraje akumulace stavby a rekuperace tepla z větracího vzduchu vč.zemního výměníku.

Provoz kotelny i solární soustavy je automaticky řízen a monitorován na PC u správce objektu. Veškeré hodnoty jsou archivovány a umožňují tak vizualizovat provoz a synergii zdrojů pro výchovu ekologického myšlení návštěvníků.

b) Hostětín

Stavba Seminárního centra je součástí školicího programu zaměřeného na energeticky uvědomělé stavění. Projektování i realizace stavby probíhá jako permanentní proces přenosu zkušeností ze zahraničí v oblasti nízkoenergetické a solární architektury a stavby pasivních domů, který se odehrává v rámci evropského projektu CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards). Koncept vychází z teorie pasivního domu definovaného Wolfgangem Feistem a opírá se o zkušenosti z projektu CEPHEUS. Jako pilotní projekt bylo seminární centrum stavěno tak, aby konstrukce byla v zásadě jednoduchá a opakovatelná, a aby všechny důležité prvky koncepce byly do budoucna dobře viditelné všem návštěvníkům. Měrná energetická potřeba tepla na vytápění je navržena 17 kWh/m^2,a.

Důraz je kladen na použití přírodních materiálů. Objemově převažujícími materiály jsou dřevo, slaměné balíky, minerální vata, cihelné zdivo a beton.

Čerstvý venkovní vzduch je nasáván do rekuperátoru, kde se ohřeje vzduchem jdoucím ven z budovy. Po průchodu rekuperátorem má vzduch teplotu okolo 20°C, což je pro podzimní a jarní provoz dostačující. V zimním období je zapotřebí vzduch ještě dohřát z centrální výtopny na biomasu.

Vzhledem k tomu, že celek bude velmi nestejnorodě využíván, je detailní management budov nadmíru významný, neboť v různých okamžicích nastává velmi kolísavá spotřeba i produkce tepla.

Promyšlená regulace spojená s velkým tepelným zásobníkem bude překonávat rozdílnou potřebu tepla.

V Hostětíně je nedostatek pitné vody. Tyto důvody povzbuzují k využívání dešťové vody. Ta bude ze střechy seminárního centra a z moštárny vedena přes filtr do nádrže velikosti cca 15m^3.

Navržený solární systém produkuje teplo pro ohřev teplé vody a také přitápění objektu. Kolektorová plocha je osazena na jižní fasádě budovy a respektuje umístění oken. Akumulace tepla je zajištěna stávajícím akumulačním zásobníkem, postaveným již dříve současně se solárním systémem na moštárně. Obě solární soustavy, 36m^2 (stávající) a 20m^2 (nová), jsou přes zásobník propojené. Deficit tepelné energie v zimním období hradí obecní kotelna na spalování štěpky. Stávající teplovod je přiveden do stávající moštárny, ze které je provedena přípojka pro seminární centrum.

Válcová ocelová nádoba o objemu deseti krychlových metrů slouží jako tepelný zásobník solárního systému o ploše absorbéru 36m^2. Na podzim 2002 byla nádoba opatřena izolací z vrstvičky minerální vaty a dvou řad slaměných balíků v celkové tloušťce 90 cm.

Topný systém s otopnými tělesy kryje malou část potřeby tepla s ohledem na nízké vytížení centra v zimním období. Větší část je hrazena teplovzdušným vytápěním a větráním. Celková základní tepelná ztráta objektu je nižší něž 20 kW.

c) <u>Ubytovací zařízení mládeže Vysoké Mýto</u>

Koncepcí celkové rekonstrukce a pasivace ubytovacího zařízení pro studenty střední a vyšší odborné školy je maximální snížení energetické náročnosti na vytápění a přípravu teplé vody oproti standardním řešením a využití obnovitelných zdrojů energie. Původní stav vykazoval spotřebu energie pro vytápění 191 kWh/m^2.r, budova po rekonstrukci a zateplení 31 kWh/m^2.r, což představuje lepší nízkoenergetický dům.

Využívány budou následující obnovitelné zdroje energie : solární energie
biomasa – pelety

Solární energie a využití biomasy ve formě pelet je vzájemně propojeno do jednoho systému pro přitápění rekonstruovaného objektu a ohřev teplé vody (TUV). Objekt je tak zcela zásobován obnovitelnými zdroji energie. Využita bude také dešťová voda ze střech ubytovacího zařízení pro sociální zařízení. Moderní solární systém s nízkým průtokem snižuje spotřebu sekundární energie pro dohřev teplé vody a přitápění objektu, což vytvoří kombinovanou soustavu. Specialitou je rozdělení absorpčních ploch slunečních kolektorů do dvou ploch, orientovaných v různých azimutech.

Solární plocha, umístěná nad vchodem do budovy, má absorpční plochu 57,8m^2, solární plocha v podélném traktu pak 123,9m^2, celkem 181,7m^2. Akumulace solárního tepla je řešena beztlakým zásobníkem v suterénu budovy. Objem je volen větší s ohledem na velmi slabý víkendový provoz, tj.20m^3. Ukládání tepla do solárního tanku se děje na principu stratifikace, tzn. ukládání v teplotních vrstvách. Dohřev teplé vody (TUV) na teplotu + 55°C v době nižšího slunečního záření zajišťují tři kotle KP 50 na spalování pelet ā 49 kW. Kotle trvale dohřívají horní část tanku pouze v době nižší solární radiace, když teplota v této části poklesne pod 65°C. Provoz solárního systému je řízen programovatelným digitálním regulátorem TECO. Veškeré aktuální měřené hodnoty budou uvedeny v dynamickém schématu na provozním počítači, současně budou archivovány. Proces bude nastaven tak, aby bylo využito maximum solární energie a minimum tepla z biomasy. Roční potřeba tepla dle energetického auditu bude 282 MWh/rok včetně větrání s rekuperací. Maximální výkon navržených zdrojů pro období výpočtové teploty vychází 97 kW, potřeba tepla pro ohřev TUV cca 32 kW, celkový maximální příkon pro budovu bude 129 kW. Kotle jsou umístěny ve strojovně v suterénu, vedle strojovny solárního systému. Provoz kotle bude regulován tak, že bude automaticky udržovat pohotovostní zásobu teplé vody v horní části solárního tanku. Kotle spalují dřevní pelety. Pokud není zapotřebí dodávat teplo, kotel se odstaví a vyhasne, při novém požadavku na teplo se automaticky zapálí a uvede do provozu. Dodávka pelet bude

zajišťována cisternou výrobce kotle. Pelety budou ze skladu paliva dopravovány do provozního zásobníku pneumatickým dopravníkem. Systém dopravy pracuje zcela automaticky. Nadřazený systém bude zastřešovat kotelnu a navíc samostatně řídit solární systém a nabíjení solárního tanku.

d) Mateřská škola Proskovice

Městský obvod Ostrava – Proskovice vytvořil pilotní projekt nízkoenergetického objektu. Ve stávající mateřské škole byla provedena dodatečná izolace vnějších stěnových konstrukcí (tl.200mm) a výměna oken. Nástavba na stávající rovné střeše byla navržena z dřevěných vazníků uzpůsobených pro izolaci tl.300mm. Energetická náročnost řízeného větrání byla snížena rekuperací a zemním výměníkem tepla. Celková potřeba tepla pro vytápění a větrání činí 46kWh/m^2.r, přičemž potřeba vlastní nástavby 31 kWh/m^2.r.

Z celkové hodnoty tepelných zisků představují solární pasivní zisky 53,5%, zisky osvětlovacích těles 20%, metabolické teplo 12%, potrubí TUV + odpady 14,5%. Solární zisky jsou podmíněny použitím vhodné stavební hmoty umožňující jejich akumulaci.

Střecha nástavby byla navržena s úhlem sklonu 50° tak, aby mohly vzniknout dostatečné plochy solárních kolektorů, které současně tvoří střešní plášť. Celková absorpční plocha činí 125,8m^2. Solární tank o celkovém objemu 12m^3 je umístěn v kotelně. V přechodném období je solární energie využívána přednostně pro přitápění, jelikož topná voda má teploty 30 – 40°C, což je podstatně méně než TUV. Mimo topnou sezónu se počítá s ohřevem TUV pro mateřskou školu, kuchyni, prádelnu a venkovní bazénky a sprchy.

Výměnou oken za plastová vzniká potřeba řízeného nuceného větrání. Kromě rekuperace tepla z odváděného vzduchu byl navržen a zrealizován zemní výměník tepla na jižní straně objektu. Hloubka potrubí se pohybuje od 1,6m do 2,0m podle spádu. Jmenovitý průtok vzduchu je 1.200m^3/h(pět větví DN 200).

Potřeba tepla byla zateplením snížena na úroveň nízkoenergetického domu. Solárním aktivním systémem je kryto 36%, zbývající část tj. 64% pak spalováním štěpky (pouze 90 – 100m^3/rok). Štěpkování provádí obec, dovoz zajišťuje obecní multikára z centrálního skladu vzdáleného cca 600m. Spalování probíhá ve dvou kotlích VIADRUS U 22 BIO o výkonu ã 48 kW. Násypná šachta je na úrovni terénu (v úrovni stropu skladu), a tak násyp probíhá samospádem. Dopravu štěpky ze skladu do provozní násypky obstarává šnekový dopravník.Potřeba tepla u nízkoenergetických domů se kumuluje výrazně do tří měsíců (v prosinci až 22%), přičemž v přechodném období klesá symbolicky na 3 – 8% v jednom měsíci.Solární energie se dobře uplatňuje pro ohřev TUV a bazénové vody. Přitápění se vlivem zateplení posouvá více do chladnějších měsíců, výraznější vliv má pasivní využití solární energie. Zemní výměník tepla zvyšuje účinnost rekuperace až na 87%. Důležitou předností je chlazení vzduchu v letním období, které u nízkoenergetických domů nabývá na významu a zvyšuje kvalitu vnitřního prostředí.

e) Dům s pečovatelskou službou Ostrava – Mariánské Hory

Pro stávající 12-ti podlažní objekt byl zrealizován solární systém v rámci zateplení celého objektu. S ohledem na malou plochu střechy (výtah, vzuchotechnika, odvětrání kanalizačních stoupaček) byl navržen fasádní systém s jižní orientací o absorpční ploše kolektorů 165m^2, rozdělené do dvou polí. Výška umístění je 6 - 28m nad terénem.

Solární tank je umístěn v 1.nadzemním podlaží na úrovni terénu. Celkový obsah 8,4m^3. Plášť je z ocelového smaltovaného plechu. Nádrž je hranatá, uvnitř vyztužená táhly, takže nepotřebuje ochranný plášť. Nádoba je beztlaká s izolací o tl. 200 mm minerální vlnou.

Systém předehřívá TUV, dohřev byl řešen v plynovém zásobníkovém ohřívači. Původní napojení na rozvody TUV z výměníkové stanice bylo odstaveno. Dohřev zemním plynem je celoroční podle skutečné potřeby, což snižuje náklady na ohřev TUV. Předávání solárního tepla probíhá v externích deskových výměnících.

Řízení a regulaci včetně vizualizace na PC zajišťuje programové vybavení. Zde jsou již použity dvě nabíjecí strategie s Match - Flow průtokem a Low - Flow.

Roční potřeba tepla pro ohřev TUV včetně ztrát cirkulací je 79,5MWh, přičemž solární pokrytí činí 53,2 %.

f) Ústav sociální péče Ostrava - Muglinov

Solární systém předehřívá (event.ohřívá) teplou vodu TUV pro celý ústav a blízký bytový dům. Kolektorové pole o absorpční ploše 402m^2 je umístěno na stávajícím přístřešku hypodromu (léčba pohybového ústrojí dětí jízdou na koních). Propojení se strojovnou je řešeno předizolovaným potrubím, uloženým pod terénem. Solární tank o celkovém objemu 18,8m^3 je umístěn v původním komínu zrušené kotelny. Komín o vnitřním průměru 2,2m byl snížen z původní výšky cca 40m na cca 8m. Vnitřní těleso solárního tanku je válcová nádoba z nerezového plechu o tl. 2 mm a výšce 6m. Nádoba je beztlaká, zevně vyztužená.

Strojovna byla umístěna do bývalého zásobníku popílku, který byl upraven. Systém ohřevu je obdobný jako u předešlého systému, tzn.externí deskové výměníky, Low-Flow systém, řízení přes internet. Roční potřeba tepla pro ohřev TUV vč.cirkulace je 427,6 MWh., solární pokrytí při dané spotřebě činí 40,6%.

g) Domov důchodců Ostrava – Vítkovice

Solární kolektory jsou osazeny na plochých střechách dvou největších objektů. Na objektu „A“ je umístěno 140m^2 absorpční plochy, na objektu „B“ pak 170m^2, celkem 310m^2 absorpční plochy.

Uchycení kolektorů na objektu “A“ bylo řešeno atypickým uložením, které muselo být ukotveno přes izolaci střešního pláště až do nosných panelů, a to pouze v místě průvlaků. Roznesení váhy muselo být přeneseno ocelovými nosníky do kotvících míst. Situace byla komplikovaná, neboť se jednalo o rekonstruovaný objekt několikrát dostavovaný bez závazné dokumentace. Původní vodoizolace byla uložením narušena a opětně pak opravena. U stávajících objektů bez ověřené dokumentace se vyplatí provést sondy již v době zpracování technické dokumentace.

V případě objektu „B“ byla situace výhodnější, neboť střešní panely snesly zatížení roznesené betonovými bloky. Uložení bylo vyrobeno s možností vyrovnání spádů pomocí různě vysokých vložkových dílů.

Solární tank je v objektu “A“ umístěn v suterénu a má objem cca 9m^3. U objektu “B“, kde se počítá s rozšířením kolektorové plochy, byl objem vypočten na kompletní kolektorovou plochu. Solární tank zde má objem 19,2m^3 a je umístěn v přístavku budovy. V obou případech jsou nádoby beztlaké, vyrobené z tenkostěnného nerezového plechu a obetonovány nosnou železobetonovou stěnou. Solární teplo z kolektorů je ukládáno pomocí stratifikačních vestaveb, které umožňují vrstvení podle teplot. Předávání tepla je řešeno pomocí externích deskových výměníků. V provozu ověřené rozdíly teplot mezi primární a sekundární stranou jsou 2 - 6ºC v závislosti na stavu nabíjení. Ohřev TUV probíhal ve stávajících stanicích ASTRA, které zůstaly zachovány pro dohřev. Pro vyrovnání nerovnoměrností odběrů byl do okruhu TUV zařazen vyrovnávací zásobník o obsahu 400 l. Provozní stavy je možné sledovat na PC u vedoucího provozu. Vlastní sledování a nastavování parametrů je prováděno z Grazu pomocí internetové sítě.

8.2 EVROPA

a) Dům Christophorus, Stadl – Paura, Horní Rakousko

Multifunkční budova ve standartu pasivního domu byla navržena s měrnou spotřebou tepla na vytápění 14 kwh/m^2.r, včetně spotřeby elektrické energie pak 49 kwh/m^2.r.

Na základě situace místa stavby a filosofie stavebníka bylo rozhodnuto o kruhovém tělese stavby, kterým bude procházet mezitěleso, jež bude budovu otevírat. Hlavní těleso stavby je třípodlažní a uprostřed je umístěna aula s galeriemi sahající přes všechna podlaží, která je díky skleněné střeše prosvětlována až do přízemí. V přízemí auly se nachází kongresové a kulturní centrum pro až 100 osob. Přes galerie v aule prochází v obou horních podlažích kancelářské a seminární prostory. Logistické centrum přiléhá v jižní části a je provedeno jako samostatné těleso. Patří k němu nakládací plochy a sklad vozidel.

Jako zdroj tepla (topný provoz) a tepelná jímka (chladící provoz) slouží zemina. V topném provozu jsou používány hloubkové sondy jako zdroj tepla pro tepelné čerpadlo. Přitom se ze země odebírá teplo, čímž se vytváří příznivý teplotní profil pro případ chlazení v létě. Chladící systém založený na využívání chladu země je podporován přirozeným masivním odvodem tepla atria během nočních hodin. Tento masivní odvod tepla je vyvoláván volným prouděním vzduchu v důsledku rozdílné hustoty mezi teplým a studeným vzduchem a dále odpovídajícím způsobem otevřenými proudícími průřezy. Na pokrytí potřeby ohřevu užitkové vody bylo instalováno velké tepelné solární zařízení s podílem slunečního krytí ve výši více než 70 %. Dodatečné vytápění ve dnech s nízkým podílem slunečního svitu probíhá elektrickým proudem.Aby bylo možno zajistit elektrickou energii pro tepelné čerpadlo, bylo instalováno propojené fotovoltaické zařízení se špičkovým výkonem ve výši 9,8 kW_{peak}. Přívod čerstvého vzduchu do kancelářských a administrativních prostor je realizován dvěma oddělenými a kontrolovanými ventilačními a odvětrávacími zařízeními s rekuperací tepla. Společné sání vnějšího vzduchu probíhá přes zemní kolektor.Přívod tepla pro vytápění budovy je přes ventilační zařízení. Průměrný dosažitelný chladící výkon je v případě „directcooling“ v kombinaci s chladícími stropy zhruba na úrovni 25 W/m^2. Dešťová voda z obou střešních ploch kancelářské části je vedena vodním příkopem a přes porostlý pískový filtr do akumulační jímky a dostává se přes přetok do akumulačních nádrží užitkové vody. Užitková voda z nádrží je čerpací stanicí dodávána pro splachování toalet, pračku, zalévání pokojových rostlin a v případě nedostatku odpadních vod pro oba porostlé půdní filtry přes plovákový ventil v akumulační nádrži odpadních vod.

Při zpracování projektu byla ustavena „nadřazená osoba“, odpovědná za energie. Starala se nejen o profese TZB, ale také o všechny energeticky relevantní oblasti a byla spojovacím článkem mezi stavebníkem, architektem, projektanty všech profesí, stavebním fyzikem a stavbyvedoucím.

b) Budova European agency of Reconstruction v Prištině, Srbsko-Kosovo

Budova byla rekonstruována v r 2002/2003 a má 2 300m^2 kancelářské plochy, chladící výkon 108 kW, topný výkon 170 kW.

Slouží jako jedno z prvních komerčních zařízení v oblasti solárního chlazení, pro něž je energetické zajištění obou agregátů absorpčního chlazení o výkonu 90 kW realizováno 227 m^2 velkým kolektorovým polem na střeše a jižní fasádě domu, sousedícího s věží EAR. V zimních měsících slouží solární soustava vedle ohřevu vody i k podpoře vytápění. Předností kombinace solární soustavy s chladícím soustrojím je využitelnost největší solární nabídky v době maximální potřeby chlazení budovy, zejména v létě kolem poledne až pozdního odpoledne. V přepočtu na životnost solární soustavy se dá takto ušetřit cca 100.000 litrů topného oleje a 250.000 kg uhlí, což odpovídá úspoře 1.100 tun oxidu uhličitého. Priština byla jako stanoviště volena mimo jiné i proto, aby se přispělo k odlehčení tamní sítě a stejně tak k redukci emisí, vyvolaných použitím nouzových dieselových agregátů v situacích špičkové potřeby proudu. Potřeba elektrické energie pro provoz absorpčních chladících agregátů klesne po zavedení solárního provozu na méně než 1/5 potřeby

původní. Současně používané chladící agregáty, pracující jen s elektřinou, vykazují životnost cca 10 až 15 let, zatímco absorpční chladící zařízení, navržené dodavatelem solární techniky, má životnost více než 20 let a je shodné se životností solární části. Jde o vyladěný systém „Solární soustava – chladící zařízení“. Použity jsou dva absorpční agregáty 90 kW, vyrovnávací zásobník $4m^3$, zásobník studené vody $1m^3$. Chladící věž je navržena na 220kW. Pro špičkový výkon je osazen další chladící stroj s výkonem 30kW.

c) Tiskové a informační středisko vlády - Berlín

V roce 2000 bylo vybudováno v Berlíně tiskové centrum pro veřejnost, knihovna, kancelářské plochy pro 450 pracovníků a technické zázemí. Tyto potřeby byly z části pokryty novou budovou, zčásti musely být využity budovy současné zástavby.

Chladící soustava s přirozeným prouděním vzduchu je napájena ze dvou absorpčních chladících zařízení o celkovém výkonu 105 kW, využívajících k pohonu teplo ze slunečních kolektorů. Celková plocha kolektorů je $240m^2$. Skládá se z kolektorů s vakuovanými trubkami a je umístěna na střeše novostavby.

K hydraulickému oddělení solární soustavy od absorpčního chladicího zařízení slouží dva akumulační zásobníky o obsahu 800 l. Případný přebytek chladicí energie získané ze slunečního záření je možné pomocí ústřední rozvodné sítě využívat i v jiných částech budovy. Patří k nim také prostory sloužící k elektronickému zpracování dat, se svými celoročními požadavky na chlazení. V případech, že požadavky na chlazení štítové stěny nemohou být plně pokryty energií ze solární soustavy, poslouží tzv. záložní dodávka tepla - z přípojky - k soustavě dálkového zásobování teplem. V zimní polovině roku, kdy se chlazení nepožaduje, je sluneční energie využívána k podpoře vytápění místností.

9 VYUŽITÍ SOLÁRNÍ ENERGIE

Energie Slunce je naším jediným energetickým zdrojem, ať v minulosti nebo v současné době. Život jako takový je podmíněn energetickými a informačními toky. Z toho vyplývá, že Slunce má zásadní vliv na Zemi. Pro nás je důležité jej v tomto ohledu pochopit a ve prospěch všech tvorů využívat. Dřívější zásoby solární energie (fosilní) se výrazně zmenšují a pro nás je důležité se naučit využívat současnou nabídku sluneční energie.

Vždycky byly energetické potřeby lidstva pokrývány obnovitelnými zdroji, vycházejícími ze sluneční energie, zvláště tepla. V době průmyslové revoluce civilizace sáhla na připravené zásoby energie (fosilní), které by nám měly umožnit vyvinout technologia a know-how pro bezpečné a pokud možno bezodpadové využívání solární radiace, která je z pohledu člověka takřka nekonečná.

9.1 TERMÁLNÍ SOLÁRNÍ SYSTÉMY

Nejstarším způsobem využití slunečního záření jakožto zdroje energie je získávání energie teplené. Tento způsob byl používán již v antice ve formě „sluneční architektury“ pro vytápění obytných domů.

V rámci budoucí sluneční energetické koncepce budou podobné metody, které lze označit jako pasivní využívání sluneční energie, hrát jistě důležitou roli ve spojení s novými stavebními materiály a prvky. Jejich použití bude však sloužit k tomu, aby podpořily aktivní systémy tím, že pokryjí části energetické spotřeby nutné pro vytápění.

Při přímém užití solární sálavé energie pro pozemní stavby přicházejí v úvahu především tři technologie :

- pasivní využití (okny a zasklenými přístavbami)
- hybridní využití (konvektivními systémy, okenními a vzduchovými kolektory)
- aktivní využití (sluneční kolektory)

Zatímco zařízení k pasivnímu využití sluneční energie formálně patří ke stavebnímu řešení budovy, patří zařízení pro hybridní a aktivní využití sluneční energie k systémům TZB. Rozlišování technologií využívání sluneční energie má ale i jinou dimenzi. Shromážďování solární energie je značně závislé na způsobu jejího získání. Zisky z pasivního využití se dají ukládat na několik hodin, zisky z hybridního využití na několik dnů a zisky z aktivních systémů po několik týdnů nebo dokonce měsíců. Druh využití solární energie má tedy vliv na celkovou koncepci.

Dalším aspektem je kombinovatelnost technologií. Velmi užitečná je kombinace pasivních resp. hybridních systémů se slunečními kolektory. Každá rozumná kombinace bere ohled na volbu způsobu ukládání tepla.

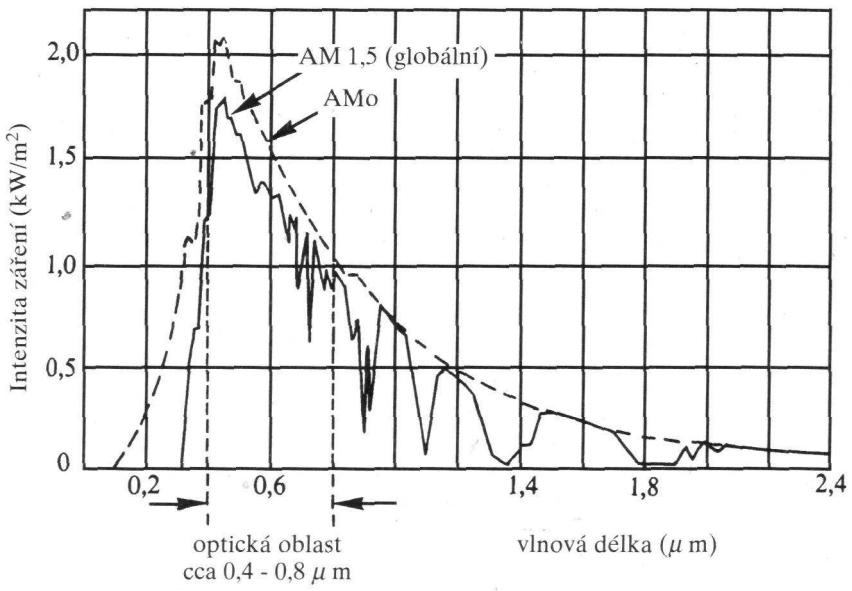
Prvotním vstupem pro všechny technologie využívání solární energie je solární záření. Všimněme si proto jeho spektra, intenzity a množství energie, dopadající na různé plochy.

9.1.1 Sluneční záření

Intenzita slunečního záření na povrchu slunce při teplotě až 5 800°C má hodnotu cca 63.000 kW/m^2. Na vnějším okraji zemské atmosféry na ploše kolmé k záření je již intenzita záření průměrně 1 367 W/m^2, což je nazýváno sluneční konstantou. Přesto energie slunce dopadající na zemský povrch činí 219.000.000 miliard kWh/r, což odpovídá 2 000 násobku současné energetické spotřeby.

Atmosférou projde jen část záření z 1 367 W/m^2. V letním období za jasného slunečního dne dopadá na horizontální plochu 900 – 1 000 W. Je to tzv. globální záření, neboť obsahuje přímé i rozptýlené záření.

Energie získaná procesy jaderné fúze je většinou ve tvaru vysokoenergetických fotonů různých frekvencí (různých vlnových délek), které nesou podle toho různou energii. K tomu přistupuje ještě mnoho neutrin, která se též vytvářejí v nitru Slunce.

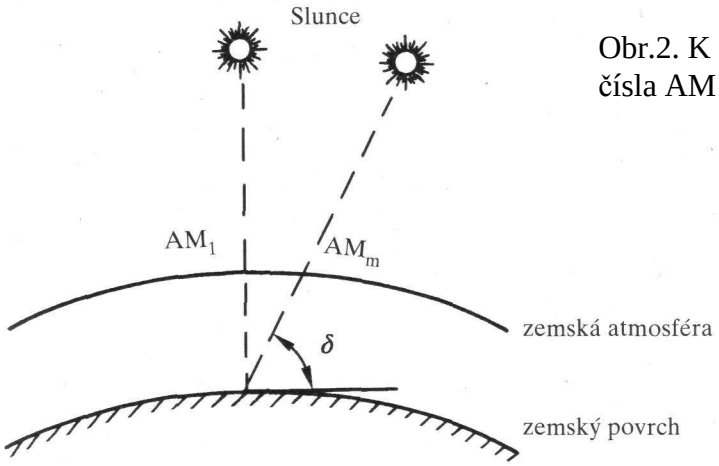


Obr.1. Spektrální složení slunečního záření

Spektrální složení slunečního záření ukazuje obr.1. Čárkovaná křivka reprezentuje spektrální rozložení vně atmosféry a má označení AM_0. Vytažená křivka je spektrální rozdělení v atmosféře při určitém úhlu dopadu, který odpovídá faktoru m = 1,5., na obrázku má proto označení AM 1,5. Tento faktor je možno vyjádřit takto (viz obr.2) :

$$m = 1 / \sin \delta$$

Při kolmém dopadu ($\delta = 90°$) je $\sin \delta = 1$. Odpovídá tedy hodnotě AM_1. Tato hodnota přísluší nejmenší možné dráze, kterou sluneční záření v atmosféře projde, než se dostane k povrchu země. Čím menší je tedy úhel, tím větší je tato dráha, a tím roste i vliv atmosféry na spektrální rozložení slunečního záření. Pro aplikace v kosmonautice, např.při napájení družic solárními generátory je přirozeně brána za základ hodnota AM_0, protože v tomto případě se s vlivem atmosféry nemusí počítat. Pro aplikace na zemském povrchu se naproti tomu užívá obecně hodnota AM 1,5. Odpovídá úhlu $\delta = 41,75°$.



Obr.2. K výkladu atmosférického čísla AM (Air Mass) [2]

Všimneme-li si z tohoto hlediska křivky na obr.2, zjistíme, že průchod atmosférou způsobuje řadu poklesů, které jsou spojeny s absorpcí záření.

Absorpční pásy odpovídají plynům obsaženým ve vzduchu vč. vodní páry. Fotony kratších vlnových délek než $\lambda \leq 290$nm odfiltruje ozónová vrstva v horních vrstvách atmosféry.

Největší intenzita leží ostatně ve viditelné oblasti, tj. mezi 380nm a 790nm . Co do procentuálního složení je rozdělení následující :

- infračervené záření cca 53%
- viditelné záření cca 44%
- ultrafialové záření cca 3%

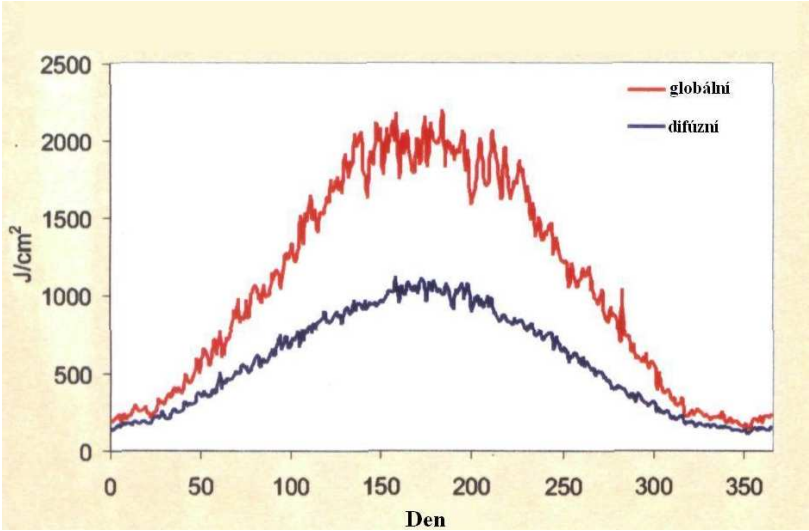
Střední hodnotu intenzity záření reprezentuje již zmíněná solární konstanta. Při AM_0 má hodnotu 1,37 kW/m^2, AM 1,5 má hodnotu – 1,0 kW/m^2. Na tuto poslední hodnotu se v dalším vztahují všechny hodnoty výrobců slunečních článků. V uvedených třech spektrálních oblastech jsou intenzity záření (pro AM_0) :

- ultrafialové záření (0 až 380nm) 95 W/m^2
- viditelné záření (cca 380 až 780nm) 640 W/m^2
- infračervené záření (cca 780nm a výše) 620 W/m^2

Hodnota solární konstanty se v důsledku elipticity oběžné dráhy Země kolem Slunce poněkud mění. Kromě toho se vyskytují určité fluktuace na základě změny aktivity slunečních skvrn, které mají jedenáctiletý cyklus. Leží až pod hranicí 0,5% a pro praktické využití solárních článků mohou

být zanedbány. Totéž platí pro změny spojené s elipticitou dráhy Země, které v průběhu roku nepřekročí hodnotu ±0,02 kW/m^2.

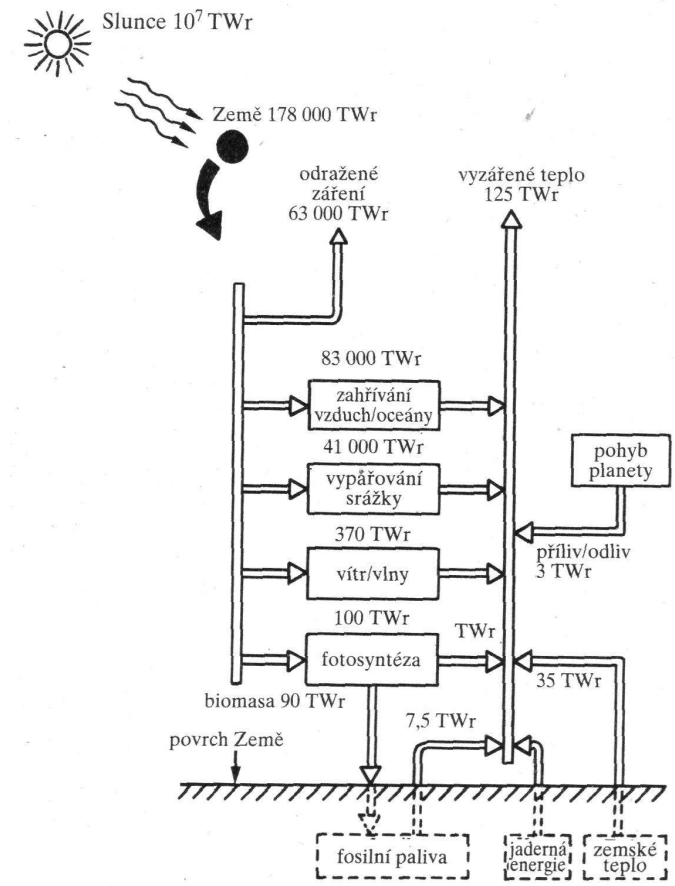
Sluneční záření dopadající na povrch Země se skládá ze dvou základních složek. Přímé sluneční záření tvoří prakticky rovnoběžný svazek paprsků přicházejících z povrchu slunečního kotouče. Druhou složkou je rozptýlené (difúzní) sluneční záření vznikající v důsledku rozptylu paprsků na částicích atmosféry. Rozptýlené záření se projevuje jako světlo oblohy.. Celkové záření je součtem všech složek dopadajících na horizontální zemský povrch a nazývá se globální sluneční záření.



Graf 3. Průběh denního množství globálního a difúzního záření pro Hradec Králové,1964 – 1998 [3]

Délka slunečního svitu na území České republiky se pohybuje v rozsahu 1.600 až 2.200 hod a je závislá mimo jiné také na klimatických podmínkách jednotlivých let.

Část celkové vyzářené sluneční energie – 10^7 TWr – dopadá na zemi, tj. 178.000 TWr. Zajišťuje správnou funkci ekosystému. Pomocí následujícího obrázku můžeme sledovat toky této energie v pozemských podmínkách.



Obr.3. Sluneční energie a její koloběh v přírodě. [2]

Uvědomíme-li si, že světová roční spotřeba energie je cca 14TWr, můžeme bez obav rozvíjet nové technologie a systémy využívání této čisté energie tak, aby byla i ekonomicky výhodná.

9.1.2 Solární záření na území ČR

Bilance solární radiace pro podmínky České republiky byly vypočteny J.Cihelkou v osmdesátých letech 20.stol. Dlouho sloužily jako vodítko pro navrhování a posuzování solárních systémů. Kromě těchto hodnot je možno dnes čerpat také z měření CHMÚ Hr.Králové, uvedených za vypočtenými hodnotami.

Tab.1 Intenzita přímého slunečního záření na plochu kolmou ke slunečním paprskům I_{Pn} ($W.m^{-2}$); platí pro 50°severní šířky [1]

Měsíc [1)]	Intenzita záření I_{Pn} ($W.m^{-2}$) v denní době (hodině) τ							
	12	11	10	9	8	7	6	5
		13	14	15	16	17	18	19
Pro součinitel znečištění atmosféry Z = 2								
XII.	780	760	660	440				
XI. a I.	845	815	740	575				
X.a II.	920	900	850	750	540			
IX. a III.	1 010	990	945	860	750	530		
VIII. a IV.	1 050	1 035	1 000	940	860	735	525	
VII. a V.	1 080	1 070	1 040	1 000	940	850	700	410
VI.	1 090	1 080	1 070	1 030	975	900	780	550
Pro součinitel znečištění atmosféry Z = 3								
XII.	580	565	470	280				
XI. a I.	650	620	550	400				
X.a II.	770	750	700	600	390			
IX. a III.	880	860	815	730	620	405		
VIII. a IV.	950	935	900	840	760	610	380	
VII. a V.	980	970	940	900	825	715	570	280
VI.	1 000	990	970	930	860	750	625	400
Pro součinitel znečištění atmosféry Z = 4								
XII.	440	425	330	180				
XI. a I.	510	485	425	280				
X.a II.	630	610	560	460	260			
IX. a III.	750	730	690	610	500	290		
VIII. a IV.	830	815	780	720	625	480	260	
VII. a V.	860	840	810	770	700	590	450	175
VI.	890	880	850	800	725	610	480	290

[1)] Intenzita záření I_{Pn} se počítá pro tzv. charakteristický den v měsíci. V dalších výpočtech se předpokládá, že hodnota I_{Pn} vypočítaná pro charakteristický den je průměrnou hodnotou pro celý příslušný měsíc.

Z tabulky je vidět důležitý vliv znečištění atmosféry nejen prachovými částicemi, význam hrají také i vodní páry.

Tab. 2. Průměrná energie dopadající za měsíc $Q_{S\ měs.}$ (kW.h.m^{-2}) na různě skloněné plochy orientované na jih (J); platí pro součinitel znečištění atmosféry Z = 3 v Praze [1]

Měsíc	Průměrná energie dopadající za měsíc $Q_{S\ měs.}$ (kW.h.m^{-2}) při úhlu sklonu osluněné plochy α						
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
I.	22,6	27,3	31,6	33,8	35,3	36,0	35,7
II.	38,4	47,3	53,5	57,7	59,9	60,2	57,,1
III.	81,8	93,3	101,4	104,5	102,6	98,6	89,9
IV.	110,4	120,9	127,5	129,0	120,3	107,7	91,5
V.	152,8	164,9	172,2	170,2	149,7	124,0	93,9
VI.	167,7	177,3	181,2	176,4	158,1	126,0	92,4
VII.	161,8	174,5	182,3	180,1	157,8	130,2	97,7
VIII.	131,8	144,8	152,8	154,4	143,8	127,4	106,3
IX.	92,1	106,2	116,1	120,3	117,9	113,1	102,0
X.	45,3	57,0	65,4	70,4	73,8	74,1	69,8
XI.	21,9	26,4	30,6	32,7	34,2	34,8	34,5
XII.	15,8	18,9	21,1	22,3	23,3	22,6	22,3
celkem za rok	1 042,4	1 158,8	1 235,6	1 251,8	1 176,7	1 054,7	893,1

Dále jsou uvedena měření solární radiace pyranometrem CM – 5 CHMÚ Hr.Králové v letech 1984 – 2001 v následujících stanicích.

Tab. 3 Stanice radiační sítě ČHMÚ

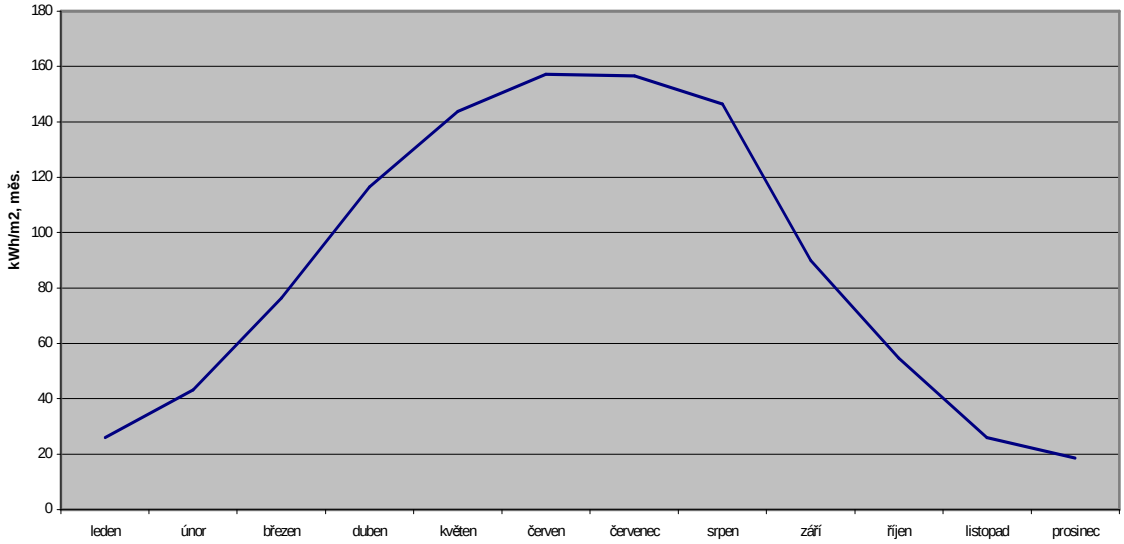
Stanice	Zeměpisná délka	Zeměpisná šířka	Nadmořská výška
Hradec Králové	15 50E	50 11N	285m
Praha - Karlov	14 25E	50 04N	262m
Ostrava - Poruba	18 15E	49 48N	242m
Kuchařovice	16 05E	48 53N	334m
Kocelovice	13 50E	49 28N	519m

Tab. 4 Vybrané solární stanice v České republice – radiace v J/cm^2

Měsíc	Hradec Králové	Praha-Karlov	Ostrava-Poruba	Kuchařovice	Kocelovice
1	7 946	7 849	8 947	9 406	9 537
2	14 320	13 801	14 637	17 194	16 708
3	27 425	25 062	25 149	29 268	27 818
4	41 661	39 435	36 630	43 871	41 640
5	57 892	54 311	52 403	59 351	57 060
6	58 961	52 635	50 513	59 783	56 389
7	58 569	55 385	52 649	60 889	59 513
8	51 200	48 975	44 178	51 279	52 353
9	33 446	30 544	28 768	33 897	33 098
10	20 532	19 637	20 437	21 571	21 026
11	8 556	8 139	9 200	9 641	9 679
12	6 143	5 787	6 517	6 931	6 839

Pro orientaci uvádíme rozptyl hodnot solární radiace v Ostravě – Porubě za roky 1993 – 2004. z průběhu je vidět, že hodnoty jsou poměrně vyrovnané až na některé měsíční extrémy, což se však

v ročních průměrech výrazněji neprojeví. Roční průměry kolísají běžně o ± 5% (viz tab. 5, 6 v příloze 1).



Graf 4. Průměr hodnot solárního záření za roky 1993 – 2004 – stanice Ostrava-Poruba

9.1.3 Způsoby využití solární energie

Energetické využití solárního záření v budovách je možné v zásadě dvěma způsoby .

- pasivní využití budovami
- aktivní solárními systémy

Prvý způsob využívá hlavně prvky stavebních částí budov, a proto zde dále není rozebírán.

Aktivní solární systémy vždy vyžadují technologické prvky pro zachycování a ukládání solár.tepelné energie, které nejsou součástí stavební profese. Tyto aktivní systémy jsou popisovány v rozsahu potřebném pro energetické audity.

Tepelné solární kolektory přeměňují sálavou energii slunce na citelné teplo, které se přivádí transportním systémem (zpravidla vodním okruhem) do tepelného zásobníku k dalšímu využití. Protože nabídka slunečního záření podléhá velkým ročním výkyvům, je těžiště produkce energie v kolektorových zařízeních v období od jara do podzimu, zatímco zisky v zimních měsících velmi silně klesají (podle kolektoru na 20 až 30% energie z teplé poloviny roku).

Z pohledu nákladů na získanou solární energii (kWh) a využití systémů platí následující pořadí, přičemž nejnižší jsou u předehřevu teplé vody (TUV) a nejvyšší u kombinovaného systému se sezónním zásobníkem :

1. Předehřev TV
2. Ohřev TV
3. Ohřev TV a podpora vytápění s denním a týdenním zásobníkem
4. Podpora vytápění se sezónním zásobníkem
5. Ohřev TV a vytápění se sezónním zásobníkem a přídavným krytím špičkové zátěže

Běžně se využívá solární energie na předehřev a ohřev teplé vody (TUV) a výjimečně i pro přitápění (podpora vytápění). Do budoucna se dá předpokládat rozšíření těchto kombinovaných systémů zvláště tam, kde je větší využití tepla v letní polovině roku. Systémy uvedené pod bodem 4. a 5. se používají v podmínkách ČR pouze jako experimentální.

9.1.4 Solární kolektory

Obytné a komunální budovy stejně jako sociální zařízení jsou nejvýhodnějšími aplikacemi praktického využití solární tepelné energie. Teplotní úroveň pro ohřev teplé vody (TUV) odpovídá 50 – 70° C, což si vyžádá kolektory se selektivní absorpční plochou, které mají dobré využití i v měsících s nižší intenzitou sluneční radiace.

Vzhledem k vysokým současným potřebám tepla pro vytápění objektů se výrazněji se solárním přitápěním nepočítá. Kvalitní zateplení zvýhodňuje objekt pro solární přitápění. Kromě velkých absorpčních ploch je nutno řešit problém s letním využitím tepla. Tato okolnost by příliš znevýhodnila cenu tepla, zvláště z důvodu nerovnoměrného rozdělení solárního záření během roku. V období od dubna do září dopadá v podmínkách České republiky cca 75% roční solární energie, na zbývající polovinu roku pak zbývá pouze 25%. Objekty je nutné vytápět právě během října až dubna.

Pro různé případy použití se osvědčily nejrůznější systémy kolektorů. Byly vyvinuty a na trhu jsou k dostání především solární absorbéry, plošné a vakuové trubkové kolektory a vzduchové kolektory. Tabulka znázorňuje typické případy použití solárních systémů.

Tabulka č 5: Různé případy použití solárních kolektorů (8)

Případ použití	**Kolektorový systém**	**Teplotní hladina (°C)**	**Spec. energetický zisk v kWh/m^{2}rok**	**Náklady na pořízení Kč/m^2 (vč. instal.)**
Vytápění bazénů	Absorbér	20 – 40	250 – 350	1 500 – 4 800,-
Ohřev teplé vody příp. s vytáp. budovy	Ploché, vakuové kolektory	20 – 70 20 – 100	300 – 470 350 – 750	13 000 – 27 000,- 22 000 – 38 000,-
Vytápění budov	Vzduchový kolektor	20 - 50	300 - 450	7 500 – 16 000,-

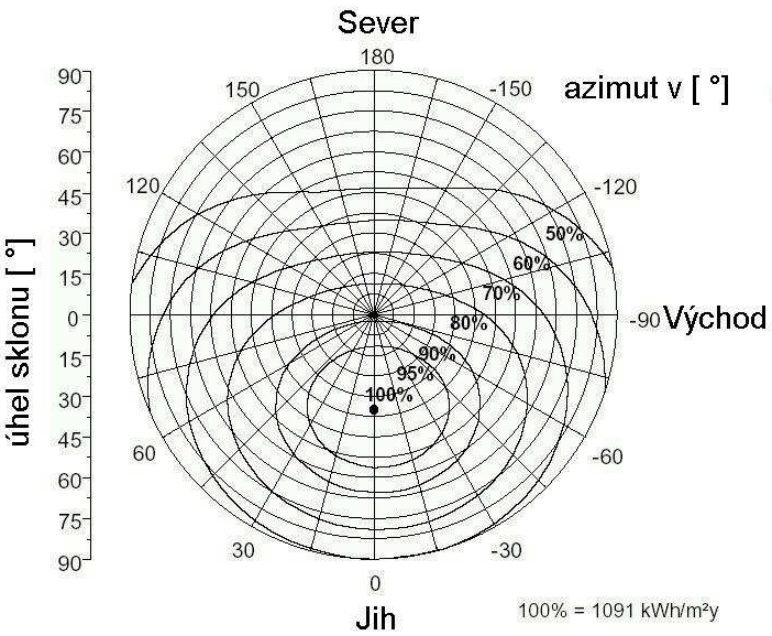
Při zohlednění charakteristické struktury potřeby tepla v budovách se nabízí především ploché kolektory resp. vakuové trubkové kolektory pro přípravu teplé vody. Teplá voda je potřebná průběžně po celý rok, solárně termická zařízení jsou tudíž po celý rok permanentně využívána. Se specifickými energetickými zisky ve výši 250 až 490 kWh/(m^{2}rok) uvedenými v tabulce a standardní hodnotou ročního celkového slunečního svitu vyplývá stupeň ročního využití kolektoru mezi 30 až 50 procenty.

Výběr správného typu kolektoru závisí na provozní teplotní hladině a ročním období využití.

Sklon a orientace

Kolektorové pole má největší zisk v poledne, kdy svítí Slunce na kolektor kolmo. Pro letní využití (koupaliště) jsou vhodné nízké sklony, pro zimní využití (vytápění) jsou vhodné strmé sklony. Kolektory musí být instalovány strmě, pokud mají v obdobích malé intenzity záření přinést teplo ze střechy. Kvůli předepsaným sklonům střech často nelze potřebný úhel realizovat.

Optimální orientace je několik stupňů od jihu západním směrem. Odchylky až do 45°C k východu nebo západu snižují zisky zpravidla o méně než 10%, přičemž západní odchylka je o něco lepší. Odchylky větší než 45°se kvůli snížení zisků nedoporučují.



Obr. 4. Pólový graf [9, 10]

Povrchy, které absorbují stejnoměrně všechny barvy spektra (například začazená plocha), zdají se našemu oku černé – žádná barva není reflektována. Tak může ideálně černý absorbér měnit energii světla téměř úplně na teplo.

Fyzika učí, že schopnost absorpce a emise jsou při stejné teplotě (tzn. ve stejné vlnové oblasti) stejné. Ideální černá plocha, která absorbuje stejnoměrně všechny vlnové délky, vydává také mnohem silněji tepelné záření (v infračervené oblasti), než např.zrcadlo. Aby bylo tepelné vyzařování absorbéru (ztráty!) redukováno, používají se při konstrukci kolektorů přednostně tzv. „selektivní vrstvy“,které v oblasti viditelného světla (odpovídající teplotě záření cca 5.000 K) dobře absorbují (α>90%), ale v oblasti dlouhovlnného záření (odpovídající teplotě záření cca 400 K) vykazují velmi omezenou emisní schopnost (součinitel emise ε < 20 %).

Transparentní kryt, jak již bylo uvedeno, má nechat sluneční spektrum co možná úplně bez překážek procházet, ale pro zpětné tepelné vyzařování má být co nejvíce nepropustným. Sklo plní tyto podmínky dobře, zatímco PE-fólie a jiné plasty nejsou odolné vůči UV-záření.

Účinnost kolektoru

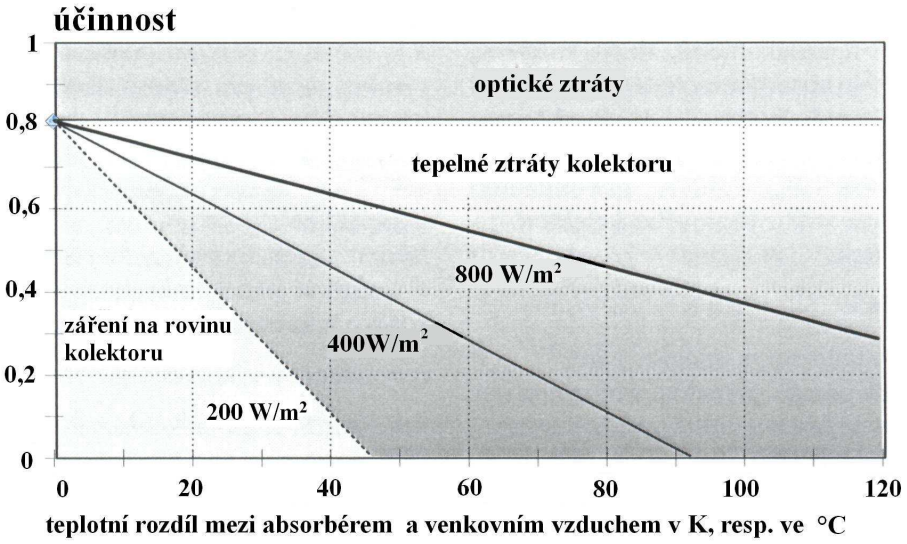
Jako u všech technických zařízení, je účinnost definována jako poměr mezi odevzdaným výkonem z kolektoru a příkonem záření na něj.

η = užitečný výkon / energie záření;

$\eta = W_N / E = \alpha \cdot \tau - k \cdot (\theta_m - \theta_L) / E = \alpha \cdot \tau - k \cdot x$

V praxi je pro posouzení kolektoru volena často tato všeobecná forma, protože tím může být účinnost definována jako funkce provozních podmínek $(\theta_m - \theta_L) / E$. Výraz $x = (\theta_m - \theta_L) / E$ je označován jako redukovaná teplota, která je v grafickém vyjádření nanášena na ose x. Účinnost jako funkce x je pak přímkou.

Když vykazuje absorbér stejnou teplotu jako okolní vzduch, nenastávají žádné tepelné ztráty, protože $\theta_m - \theta_L = 0$. V tomto případě dosahuje kolektor **maximálního** stupně účinnosti, který je sám určen optickými ztrátami, tzn. hodnotou $\alpha \cdot \tau$, označovanou proto i jako optickou účinnost. Tepelné ztráty rostou s přibývajícím rozdílem teplot mezi absorbérem a okolím. Se stoupající teplotou absorbéru je tedy účinnost kolektoru stále horší. Na obrázku je znázorněna závislost účinnosti na rozdílech teplot při různé intenzitě záření (např. při E = 800 W/m^2).



Graf 5. Účinnost solárního kolektoru jako funkce rozdílu teplot mezi absorbérem a okolím při slunečním záření 800, 400 a 200 W/m^2. [4]

Stupeň využití

Stupeň využití je naproti tomu poměr přidané (užitné) energie k přijaté (přivedené) energii, je to takříkajíc účinnost, sledovaná po delší čas. Činí-li tento čas 1 rok, pak hovoříme o ročním stupni využití, který může kolísat mezi nulou a maximální účinností.

Příklad: u konvenčního topného kotle (topný olej nebo plyn) se vykazuje maximální účinnost 90%. Naproti tomu stupeň využití se může v mnoha případech pohybovat mezi 60 a 80%. Rozdíl je dán v podstatě tzv. klidovými ztrátami, tedy v energii, potřebné po delší době stání zařízení k jejímu vyhřátí na provozní teplotu (je rovna energii ztracené do okolí během vychladání zařízení v době klidu). Jiný příklad : solární kolektor, který na stanovišti vyprodukuje z 1 000 kWh/m^2 záření za rok 400 kWh užitečného tepla, vykazuje celoroční stupeň využití 40%.

Energetické zisky kolektorů

Výnos energie z kolektoru je závislý na více faktorech. Vedle místních poměrů záření jsou to orientace a sklon kolektoru, jeho provozní podmínky (teploty) a přirozeně hodnoty charakteristik kolektoru. Se zřetelem na všechny tyto podmínky jsou různými instituty tepelné výnosy (zisky) měřeny a s použitím počítačových simulací přepočteny na srovnatelné podmínky. Zejména švýcarský institut SPF (Solarenergie-Prüfungsund Forschungsstelle) na Technice v Rapperswilu vydává se zkušebními zprávami i obsáhlé tabulky, které specifikují tzv. brutto výnosy kolektorů pro různé sklony a orientace, pro různé teploty kolektorů, tak jako údaje z různých zón se standardním počasím ve Švýcarsku. Tyto údaje jsou zaměřeny na měsíční výnosy energie. Tabulky jsou spolu se zkušebními zprávami k dispozici v místě zkušebny.

Jako roční brutto výnosy kolektorů při teplotě kolektoru 60°C, podle druhu konstrukce byly určeny následující směrné hodnoty :

- Ploché kolektory bez selektivního povrstvení 250 až 370 kWh/m^{2}r.
- Ploché kolektory se selektivního povrstvení 320 až 530 kWh/m^{2}r.
- Vakuované trubicové kolektory 380 až 760 kWh/m^{2}r.

9.1.4.1 Plastové absorbéry

Plastové absorbéry je vhodné použít **pouze** pro letní ohřev otevřených venkovních bazénů, což je případ sezónního využití**.** Mají příznivou cenu a v letní polovině roku při nižší provozní teplotě média (20 - 30°C) dobrou účinnost přeměny solární radiace na teplo. Jelikož zde odpadá transparentní kryt (zasklení), solární zisk není snižován reflexí a vedením v krycím skle, což představuje cca 8 – 12 %. Tato výhoda proti zaskleným kolektorům však platí jen po dobu hlavní sezóny. Absorbér je zároveň nutno umístit do místa chráněného před větrem, neboť při silnějším větru dochází ke zbytečnému snížení solárního zisku. Po pravdě je nutno říct, že použití plastových absorbérů bude v budovách spíše výjimkou než pravidlem. Případný ohřev vody pro bazény by měl být řešen systémově.

9.1.4.2 Ploché kolektory

Nejvhodnější a také nejčastěji využívaný bude solární ohřev teplé vody. Vzhledem k teplotní úrovní 50 - 70°C je vhodné používat **ploché kolektory** se selektivním povrchem, které mají dostatečnou účinnost i v přechodných obdobích roku (únor – březen, říjen – listopad).

Tento typ kolektoru sestává z absorbéru, který je shora kryt transparentním krytem (tvrzené sklo s minim. obsahem železa). Pronikání tepla pod absorbér brání izolace v tloušťce 60 – 70 mm. Vše je uloženo ve vaně z nerezového nebo hliníkového plechu.

Umístění kolektorů ve stávajících objektech je nutno řešit vždy individuálně. Na plochých střechách je možno volit nejvýhodnější azimut tj. otočení absorpční plochy k jižní straně. Pokud to z určitých důvodů není možné, odchylka ± 30°C znamená snížení dopadajícího záření o max. 3-5% (v letní polovině roku). Optimální úhel sklonu kolektorů je pro letní období 30°, pro zimní 55 - 60°. Pro celoroční provoz solárního systému je optimum 40 - 45° s tím, že odchylka o 10° znamená snížení dopadu solární radiace o 2 – 3%. Z těchto zjištěných údajů je vidět, že umístění kolektorů není příliš citlivé na malé odchylky, které je možno kompenzovat odpovídajícím zvětšením absorpční plochy.

Náročnější je ukotvení kolektorů. Na plochých střechách je nutno počítat především se zatížením proti účinkům větru, a to buď zatížením kolektorů betonovými bloky nebo ukotvením do střešní konstrukce. V obou případech je nutné statické posouzení stávající konstrukce. Pro srovnání je možno uvést srovnání zatížení. Váha kolektorů se pohybuje okolo 25 kg/m^2, zatížení kompenzující vítr pak od 50 do 350 kg/m^2 podle výšky uložení nad okolním terénem. Tato záležitost nesmí být podceněna.

Při umístění na ploché střeše je nutno dále pamatovat na vzduchotechnické výdechy, světlíky, hromosvody a střešní vpusti. U šikmých střech tyto komplikace odpadají. Problémem bývá správný azimut (orientace vůči jihu) a způsob uchycení na stávající střešní konstrukci.

9.1.4.3 Vakuové kolektory

Vakuové (vakuované) kolektory jsou v převážné většině řešení sestaveny z trubic, ze kterých je odstraněn vzduch, což zvyšuje izolační schopnost (princip termosky). Uvnitř je umístěna selektivní plocha s trubkou pro přívod a odvod teplonosného media. Může zde být použit princip tepelné trubice nebo klasický průtočný systém.

Absorbér vakuového kolektoru leží v prostoru relativního vakua v kolektoru. Tím jsou tepelné ztráty podstatně nižší než u běžných plochých kolektorů. Právě z toho vychází rozhodující výhoda vakuových kolektorů pro solární vytápění. Mají velmi dobrou účinnost i při vyšších teplotách v kolektorovém okruhu a při malé intenzitě slunečního záření. Zisky v zimě se tak mohou podstatně zvětšit.

Vakuový trubkový kolektor se skládá z trvale vakuově těsné skleněné trubice o průměru 60mm, ve které leží absorbér upevněný jen na několika místech. Ven vyúsťují jen vedení pro odběr tepla. Vakuové trubkové kolektory jsou léty vyzkoušeny a pracují dnes velmi spolehlivě.

„Vakuové ploché kolektory“ dosud neexistují. Jsou sice nabízena zařízení s tímto označením, ale jedná se vlastně o kolektory podtlakové, které pro zlepšení tepelné izolace pracují se zbytkovým tlakem 70mbar.

Trubice jsou sestaveny do celků až 16 ks. Pro jejich umístění platí výše uvedené zásady.

Vakuové kolektory dosahují vyšších zisků o 30 – 40% než kolektory ploché hlavně v obdobích s nízkou radiací a při vyšších teplotách ohřívání vody (až 100°C a více dle použitého média). Vzhledem k vyšší ceně je proto jejich použití opodstatněné pro vyšší teploty (zvláště technologické) a event. malou plochu pro osazení kolektorů.

9.1.4.4 Vzduchové a okenní kolektory

Okenní kolektor konstrukčně odpovídá špaletovému oknu s celkovou hloubkou 20 až 30 cm. Teplý vzduch v prostoru mezi vnitřním a vnějším oknem je konvektivně odváděn do zásobníku, například stropu, topné stěny, zásobníku s kamenivem. Nastavení žaluzií umístěných ve špaletovém okně ovlivňuje pohlcování slunečního záření. Pohyb vzduchového proudu může probíhat gravitačně (termosifon) nebo pomocí malého elektrického ventilátoru. Okenní kolektor je nejvyužívanějším typem kolektoru pro konvektivní využití. Hodnoty **k** takových konstrukcí se pohybují mezi 0,5 a 1,0 W/(m^{2}K).

V případě vzduchového kolektoru je před stěnu budovy předsazena skleněná konstrukce. V meziprostoru mezi zasklením a stěnou se vzduch za předpokladu dostatečného ozáření Sluncem ohřívá a proudí vzhůru, odkud je systémem kanálů odváděn do zásobníku.

Rozdíly mezi okenními a vzduchovými kolektory

Okenní kolektor dává větší solární zisky, tzn. má vyšší účinnost, protože kombinuje přímé a konvektivní využití. Při otevřených žaluziích může být zhodnocena i část difúzního záření.

Vzduchový kolektor má přirozeně lepší hodnotu **k**, má tedy menší ztráty. Pokud se porovná podíl energie využitelný pro vytápění, je rozdíl mezi okenními a vzduchovými kolektory malý.

Energetické zisky

Předpokladem pro provoz konvektivního systému je dostatečné intenzivní přímé záření. To znamená, že konvektivní zisk roste v době, kdy je v domě již tak dost tepla, například v důsledku přímého záření. Konvektivní zisk musí být tedy akumulován, zpravidla v zásobníku s vodou nebo s oblázky. Při dostatečné kapacitě zásobníku může nahromaděné teplo (v závislosti na stavu nabití a na vnějších teplotách) v nízkoenergetickém domě „přemostit“ až osm dnů špatného počasí bez použití přídavného vytápění.

Vertikální jižní plochy přijímají v topném období říjen až březen asi 250 kWh/m^2 sálavé energie. Účinnost okenních a vzduchových kolektorů je mezi 20 až 60%, což vede k brutto-ziskům mezi 50 až 180 kWh/m^2 za topné období.

9.1.4.5 Koncentrační kolektory

Koncentrační kolektory překonávají tepelně-technické vlastnosti plochého kolektoru, protože mohou optickou cestou, zrcadly nebo čočkami, mnohonásobně zvýšit záření na absorbér. Tím mohou vyvinout podle stupně soustředění teploty od 80°C až přes 2 000°C. Soustřeďovat se dá ovšem jen přímé záření, takže ve středoevropském klimatu s převážně difúzním zářením zůstává tato možnost z větší části nevyužita. Použití koncentračních kolektorů se zdá smysluplným jen v zemích nebo krajinách s vysokým podílem přímého záření. Tam jsou použitelná především

cylindrická parabolická zrcadla s trubkovým absorbérem v ohnisku, určená především pro výrobu procesního tepla.

O tom, jaká teplota bude dosažitelná s ještě přijatelným stupněm účinnosti, rozhoduje koncentrační faktor kolektorového systému. Je definován poměrem plochy apertury („otevřené“ plochy reflektoru) k ploše absorbéru.

9.1.5 Koncepce solárních soustav

Solární soustavy slouží pro zásobování spotřebitele tepelnou energií. Z toho vyplývá základní předpoklad dobře fungující soustavy – produkce solární energie (kolektory) musí být s odběrem tepla (akumulace, předávací zařízení) navzájem seřízeny tak, aby spotřebitel byl energií hospodárně zásobován. Zkušenosti z praxe ukazují, že dobře navržená jednoduchá soustava pracuje lépe a hospodárněji, než soustava komplexní, ale složitá.

V podmínkách českých solárních systémů se vyskytují převážně dva způsoby využití :

- předehřev a ohřev teplé vody (TUV)
- podpora vytápění s ohřevem teplé vody

První skupina je technicky nejvíce propracovaná a v praxi pracuje spolehlivě. Největší komplikací jsou časté špičkové odběry, které výrazně vybočují z průměru. Sluneční soustava musí umět tyto nerovnoměrnosti zvládnout tak, aby nedošlo k diskomfortu. Výhodou na druhé straně je vyrovnaný odběr teplé vody během roku. Větší denní odběry teplé vody předpokládají především velkoplošné solární systémy.

Druhá skupina předpokládá solární podporu vytápěcí soustavy. Znamená to zvětšení absorpční plochy kolektorů oproti běžným systémům pro ohřev vody. Větší kolektorové pole se někdy obtížněji umísťuje. Největší problém nastává s využitím letního přebytku tepla. Pokud není k dispozici např. ohřev bazénové vody, absorpční chlazení, event. jiná technologická potřeby, je nutno počítat v letním období s delšími dobami stagnace systému a tím i nižším ročním solárním ziskem. Doba stagnace nastává tehdy, když solární zásobník je nabit, solární primární okruh se přehřeje a dojde k automatickému odstavení. Nejde o technický problém, neboť kolektory a další komponenty jsou na tyto teploty dimenzovány, ale dochází tím ke zhoršení ekonomie provozu.

9.1.5.1 Členění solárních soustav

Rozčlenit solární soustavy je možno více způsoby podle jednotlivých hledisek. Prvou možností je dělení podle využití získané solární energie, jak již bylo uvedeno v bodu 3.1.3. Pro přehlednost je uvedeno i zde :

1. Předehřev TV
2. Ohřev TV
3. Ohřev TV a podpora vytápění s denním a týdenním zásobníkem
4. Podpora vytápění se sezónním zásobníkem
5. Ohřev TV a vytápění se sezónním zásobníkem a přídavným krytím špičkové zátěže

V současné době jsou nejvíce využívány soustavy podle bodu 1. a 2., postupně se začínají uplatňovat i soustavy s podporou vytápění podle bodu 3.

Rozlišovány jsou soustavy podle hybné síly oběhu teplonosného media :

1. samotížný oběh
2. nucený oběh

Převážná část soustav je provozována výhradně s nuceným oběhem, který snižuje investiční náklady na soustavy. U středních a velkých soustav nemá smysl používat samotížný oběh.

Přenos tepla jak ze solárního okruhu do zásobníku, tak ze zásobníku do spotřebního okruhu, může být proveden :

a) bez tepelného výměníku (jednookruhový systém)
b) s jedním tepelným výměníkem (vnitřním nebo venkovním) pro oddělení solárního a spotřebního okruhu (dvoukruhový systém), nebo
c) se dvěma tepelnými výměníky (vnitřními nebo venkovními) a oddělenými okruhy, jak solárním, tak spotřebitelským (tříokruhový systém)

Při přenosu tepla bez tepelného výměníku jsou kolektor a spotřebič navzájem spojeny : teplonosná kapalina ve spotřebním okruhu (pitná voda, topná voda, bazénová vody) proudí také kolektorovým okruhem. Zavedením jednoho nebo dvou tepelných výměníků do systému dochází k „látkovému“ oddělení mezi nosičem tepla v kolektorovém okruhu a spotřebním okruhem, a (nebo) nosičem tepla v zásobníku, což umožňuje použití mrazuvzdorné kapaliny v kolektorovém okruhu, nebo topné vody v zásobníku. Zda se tepelný výměník nebo tepelné výměníky nacházejí uvnitř zásobníku, nebo mimo něj, má vedlejší význam. Kde je nutno předávat velké tepelné výkony, tam se nachází z technických a ekonomických důvodů, vně umístěný výměník.

Při návrhu koncepce soustavy a dimenzování solárního primárního okruhu se rozlišují následující průtoky media :

A. High-Flow (velký průtok)
B. Low-Flow (nízký průtok)
C. Matched-Flow (variabilní průtok)
D. Drain-Back (samotížné vyprazdňování)

Pozornost si zaslouží všechny kombinace uvedené v této kapitole. V současné praxi se však některé kombinace osvědčily méně. Dále budou popsány jen osvědčené a praxí vyzkoušené koncepty solárních soustav s uvedením jejich předností i nevýhod.

9.1.5.2 Solární soustavy pro ohřev bazénů

Jedná se vždy o beztlaké systémy, případně systémy s minimálním tlakem, protože plavecký či rehabilitační bazén je otevřená nádrž. Pokud dojde k oddělení primárního solárního okruhu výměníkem od bazénu, je přípustný jen malý tlak, neboť plastové absorbéry odolávají jen malému tlakovému namáhání.

Protože bod varu teplonosného média (chlorované vody) nebude překročen a systém je beztlakový, nebudou některé konstrukční díly vůbec potřebné, zejména tepelný výměník a pojistná zařízení obvyklá u standardních soustav (pojistný ventil, expanzní nádoba). Zato přichází v úvahu některé, pro bazény specifické konstrukční části, jako vyrovnávací nádrž, filtrační čerpadlo, filtr, příprava a čištění vody atd. Tyto konvenční komponenty se nacházejí – nezávisle na ohřevu – u každého bazénu a nebudou zde dále rozváděny.

Solární soustavy pro bazény se vyznačují velkými plochami kolektorů, které mohou zahrnovat u velkých veřejných lázní i několik set metrů čtverečních. Rozhodující význam pro jejich bezchybnou funkci a pokud možno vysoký zisk má jejich rovnoměrný průtok. K tomu dochází po pečlivém seřízení průtoku a tlaku. Z toho důvodu bývá většinou celková plocha rozdělena do sekcí. Rozdělení je většinou prováděno také proto, že u velkých koupališť je třeba absorbéry rozmístit na střechy více budov.

9.1.5.3 Samotížné soustavy

Samotížné systémy jsou nejjednodušším řešením oběhu teplonosné kapaliny u solárního systému, které se uplatňuje zejména v případě malých systémů s krátkou délkou potrubí. Pro rozsáhlé instalace se tento druh zařízení neuplatní.

9.1.5.4 Soustavy s nuceným oběhem

Podstatným znakem soustav s nuceným oběhem je tedy čerpadlo ve spojení s řídicí a ovládací jednotkou.

Nasazení oběhového čerpadla s řízením osvobozuje tento systém od omezení vyžadovaných samotížnými systémy. Zde je umístění kolektorů a zásobníků relativně svobodné a je přizpůsobeno daným možnostem umístění celé soustavy, která je celkově flexibilnější.

Uvedené výhody mají pro praxi tak velký význam, že solární soustavy s nuceným oběhem platí ve střední a severní Evropě za standard pro malá zařízení. Větší soustavy ani nelze nijak realizovat. V místech, kde není k dispozici elektrická energie z veřejné sítě, lze oběhové čerpadlo v soustavě napájet proudem z fotovoltaického systému.

9.1.5.5 Soustavy pro přípravu teplé vody

Jedná se o nejrozšířenější soustavy. Předností těchto soustav je relativně konstantní odběr teplé vody během roku. Je nutno respektovat pouze krátkodobé špičky během denních odběrů. Právě z těchto důvodů jsou používány zásobníky solární energie, které současně slouží k vyrovnání potřeb tepla během víkendů, kdy potřeba klesá oproti pracovním dnům.

Primární okruh bývá naplněn nemrznoucí kapalinou a je od vyrovnávacího zásobníku oddělen deskovým výměníkem. Podobně je i pitná voda průtočným způsobem ohřívána pomocí deskového výměníku. V sekundárním okruhu je osazen ještě menší zásobník (cca 0,5 – 1,0 m^3) pro vyrovnání okamžitých špiček.

Regulační systém reaguje na stav nabití vyrovnávacího zásobníku a současně řídí chod oběhových čerpadel v závislosti na požadovaných teplotách.

Hlavní komponenty solárního systému, jako jsou vyrovnávací zásobníky, deskové výměníky, čerpadla, regulátor apod. je vhodné umístit co nejblíže stávajícímu ohřevu TUV, který zůstává záložním stupněm pro ohřev (dohřev) pro případ nízkého slunečního svitu.

9.1.5.6 Soustavy pro přípravu teplé vody a podporu vytápění

Tyto kombinované systémy se navrhují především v budovách s nízkou spotřebou energie (tzv. nízkoenergetických domech), kde spotřeba tepla byla značně snížena zlepšením izolačních vlastností obvodového pláště budov a využívá se rekuperace tepla z odpadního větracího vzduchu. Budovy jsou dále přizpůsobeny pro maximální využití pasivních solárních zisků. V tomto případě je smysluplné použít kombinovanou soustavu.

V obytných a dalších komunálních budovách s vysokou potřebou tepla je vždy nutno zvážit užití kombinované soustavy. Nejedná se jen o velikost absorpční plochy, která může být obtížně umístitelná na stávající budovy, ale také o omezenou možnost využití letních přebytků tepla.

9.1.5.7 Teplovzdušné soustavy pro podporu vytápění

Tyto soustavy pracují se vzduchem jako teplonosným mediem. Vzhledem k tomu, že vzduch má malou tepelnou kapacitu, je nutné k přenosu solární energie používat velké objemy, což znamená také potrubí velkých dimenzí. To do určité míry limituje rozsah použití těchto soustav na menší a střední velikosti. Výhodné je použití pro vytápění nebo průmysl. Velkou předností je

jistota, že okruh nezamrzne bez jakýchkoli protimrazových přísad. Taktéž příkon elektrických pohonů pro oběh vzduchu je menší než při vodním mediu.

Kolektory mají speciální konstrukci se vzduchovými kanálky opatřenými selektivním absorpčním povrchem. Jelikož teplota media je nižší (cca 25 – 40°C), je i účinnost kolektorů vyšší.

Jedná se o zajímavý systém pro specifické použití. Kde jsou příhodné podmínky, lze jej vřele doporučit. Dosavadním handicapem jsou zatím velmi malé zkušenosti v Česku.

9.1.6 Rozdělení solárních soustav podle průtoků

V této kapitole je poskytnut stručný odborný přehled koncepcí používaných způsobů solárního ohřevu (vyjma teplovzdušných systémů).

Podle oběhu teplonosného media v primární částí solární soustavy existuje několik různých systémů, jejichž výhody a nevýhody jsou přehledně uvedeny v následující tabulce.

Tab. č. 6 Výhody a nevýhody různých průtoků v solárním okruhu

Koncept/spec.	Výhody	Nevýhody
High-Flow (klasický nebo standardní koncept) 30 až 70 l/m^2.h	+ kolektor je provozován s nejvyšší účinností + jednoduchá, řadu let ověřená systémová technika s konvenčními součástmi	- pomalý ohřev zásobníku na žádanou úroveň teploty
Low-Flow 8 až 15 l/m^2.h	+ rychlejší ohřev pohotovostní části zásobníku na teplotu užitkové vody, tím menší potřeba dohřívání + vyšší solární zisk (účinnost) + použití trubek menší světlosti, menší tepelné ztráty z potrubí a úspora materiálu + potřebný jen menší výkon čerpadla + velký potenciál budoucnosti	- výhody platí pouze když jsou všechny komponenty systému navzájem sladěny: čerpadlo, průměry potrubí, výměník tepla, řízení a zásobník - není-li soustava optimálně seřízena, může se vysokými teplotami kolektoru snížit jeho účinnost - relativně nová technika systému - nelze použít některé stejné komponenty pro High-Flow a Low-Flow
Matched-Flow 8 až 40 l/m^2.h	+ sjednocuje výhody High-Flow a Low-Flow, ale není ještě dlouhodobě ověřený	- je těžké použít stejné komponenty pro Low-Flow a High-Flow, proto nutný vždy kompromis - velmi nová technika systému

Rozdělení je platné pro všechny způsoby využití solární energie. Prakticky však existují hranice použití. Např. High – Flow systém je využíván pro menší soustavy, Low – Flow naopak pro větší a velkoplošné systémy.

a) High-Flow
b) Low-Flow
c) Matched-Flow
d) Drain-Back

9.1.7 Akumulace tepla

Problematika zásobníků (akumulátorů) tepelné energie se začíná realizovat v koncepcích jak krátkodobého tak dlouhodobého ukládání tepla. Způsoby ukládání tepla se rozlišují podle zvoleného fyzikálního principu. Využíváno může být citelné teplo, latentní teplo nebo termochemické reakce.

Cílem solárních zásobníků je dosáhnout co nejvyššího využití zachycené energie. V podmínkách české solární energetiky mají největší využití krátkodobé zásobníky, které pracují s akumulací na jeden až několik dnů. Je to dáno nejvýhodnějším poměrem investičních nákladů k získané solární energii. Využívá se takřka výlučně citelné teplo vody.

Solární zisk (výtěžek) je ve svém důsledku závislý nejen na účinnosti kolektorů, způsobu oběhu media, ale především na kvalitních tepelných zásobnících. Záleží zde jak na zásobnících, tak na teplotních úrovních. Buď se jedná o nízkoteplotní (40 – 60°C) nebo vysokoteplotní (je míněna tepel. hladina 60 – 90°C) systém.

U vysokoteplotních zásobníků je nutno dodržet stratifikaci neboli teplotní rozvrstvení, a to pak důsledně udržovat. Za tím účelem byly vyvinuty speciální zásobníky s vestavbami, které zavádějí vodu z kolektorů do odpovídající výškové úrovně podle teploty tak, aby např. voda s teplotou 60°C byla vypouštěna do úrovně, kde je opět 60°C. Menší systémy mají solární výměník na dně zásobníku a ohřátou vodu pak vestavbami vedou do vyšších teplotních úrovní. Pro dobrou tepelnou účinnost solárního systému jsou tyto zásobníky nutností, neboť mohou zvýšit výtěžnost solárního zisku o 5 – 15% za rok.

Nízkoteplotní systémy nejsou citlivé na stratifikaci, a proto vestavby nejsou nutné. Rozdíl teplot mezi spodní a horní částí zásobníku je nízký, a proto postačí odebírání chladnější vody do kolektorů ze spodní části objemu a přívod teplé vody z kolektorů do horní části. Tím se zjednodušuje řešení a současně snižuje cena, zvláště když jde o beztlaké systémy. Jedná se zde hlavně o High-Flow systémy tzn. s vysokým průtokem media.

Pro orientaci je uvedena tabulka slunečního záření během roku v porovnání potřeb tepla pro vytápění. Z denních solárních zisků a také měsíčních součtů vyplývá nutnost akumulace tepla.

Tab.č.7

Období	Energie		Podíl (%) vůči		Potřeba tepla (%) ÚT + TUV	
	KWh/m^2	MJ/m^2	Letnímu období	Celému roku	dům 80.léta	NE dům
Leden	22	80	13,17	2,24	16,91	18,4
Únor	36	130	21,56	3,33	11,93	14,6
Březen	83	300	49,70	7,68	12,11	9,9
Duben	117	420	70,06	10,82	8,48	4,5
Květen	150	540	89,82	13,88	5,10	2,5
Červen	167	600	100,00	15,45	2,54	2,5
Červenec	167	600	100,00	15,45	2,54	2,5
Srpen	136	500	83,33	12,86	2,54	2,5
Září	100	360	59,88	9,25	4,25	3,2
Říjen	56	200	33,53	5,18	5,98	6,4
Listopad	25	90	14,97	2,31	12,92	14,9
Prosinec	19	70	11,38	1,75	14,70	18,1
Celý rok	1 081	3 890	-	100,00	100,00	100,0

a) <u>Zásobníky pro krátkodobé ukládání tepla</u>

Hovoříme-li o větších solárních systémech (nad 50 - 100 m^2 abs. plochy), pak zásobníky jsou nádoby tlakové, nebo beztlaké. K přestupu tepla ze solárního okruhu dochází v deskových výměnících, umístěných vždy mimo vlastní nádobu. Výhodou je vysoký měrný prostup tepla, a tím

i nízká cena teplosměnné plochy. Objem zásobníků se pohybuje od několika m^3 až po desítky m^3, teploty pak vždy do 100^oC, což umožňuje použití beztlakých zásobníků.

U většiny zásobníků dochází ke stratifikaci tj. rozvrstvení podle teplotní úrovně, a proto jsou zde umístěny různé vestavby, které umožňují ukládání tepla ve vrstvách podle odpovídající teploty. Důležitá je velmi nízká rychlost teplonosného media proudícího vestavbami.

Izolace v těchto případech vycházejí nižší než u dlouhodobých, přesto by tloušťka neměla v žádném případě poklesnout pod 100 mm.

Beztlaké nádoby

Beztlaké nádoby jsou vzhledem k množství uskladněného tepla vůči tlakovým nádobám relativně levné. Také jejich provoz, jelikož nevyžaduje odborný dohled, je nižší. Prostým porovnáním finančních nákladů lze za stejnou cenu uskladnit v beztlaké nádobě dvakrát až pětkrát více tepelné energie. Tepelné ztráty jsou nižší díky menšímu měrnému povrchu a nádoby plní funkci expandéru (jedná se však o větší objemy).

Ze známých způsobů akumulace se tepelná akumulace vyznačuje relativně nejvyšší účinností, neboť při ní probíhá nejméně energetických přeměn. Účinnost při přečerpávání (změna výšky) je 0,50 až 0,75, akumulace stlačeného vzduchu 0,39 – 0,52, tepelná akumulace 0,65 – 0,88. Latentní zásobníky nebyly hodnoceny.

Homogenní (promíchávaný) zásobník

Vhodný je pro systémy s vysokými průtoky media, jako např. High – Flow (solární systémy), event. pro ty systémy, kdy kapalina v kolektorech a zásobníku je tatáž, např. Drain – Back.

Stratifikační (vrstvený) zásobník

Jedná se o zásobník, kde dochází ke gravitačnímu rozvrstvení vody podle měrné váhy, tedy teplot. Jednotlivé vrstvy si pak dále udržují rozdílné teploty, neboť tepelná vodivost vody je relativně nízká.

Při posuzování účinnosti zásobníků (poměr odebírané energie k energii získané ze Slunce) bylo zjištěno při srovnatelných poměrech, že stratifikační zásobník má účinnost vyšší (47%), oproti homogennímu zásobníku (43%). Uváděný stratifikační zásobník byl pouze třívrstvý. U vícevrstvého (event. kontinuálního) zásobníku vychází účinnost ještě vyšší.

Zajímavé posouzení zásobníků bylo provedeno ve středisku Solar Energy Research Centra ve Švédsku (SERC). Do každého zásobníku byla přiváděna energie z kolektorů stejné výroby . Dohřívání na požadovanou teplotu bylo realizováno elektrickou energií.

Z výsledku testu je vidět, že nejlépe obstál zásobník s nejlepším vrstvením. Proto je tomuto jevu věnována zvýšená pozornost a vzniká mnoho konstrukčních provedení tzv. vestaveb.

K tepelnému vrstvení dochází tehdy, je-li teplá voda ukládána do správné části zásobníku a odběr je prováděn vždy ze spodní části. Tepelné rozvrstvení se udrží tak dlouho, dokud nedojde k promíchání vrstev. Výměna tepla mezi vrstvami je ztížena vlivem malé tepelné vodivosti vody.

Rozhodující vliv na tepelné vrstvení zásobníku mají pochody probíhající při nabíjení a vybíjení, tedy vhodná konstrukce přívodu a odvodu teplé vody.

Nabíjení zásobníku solární energií vnitřním trubkovým výměníkem ve spodní třetině výšky je snadno realizovatelné, ale má tu nevýhodu, že prouděním ohřáté vody dochází vždy také k promíchání vrstev. Proto byly vyvinuty tzv. vrstvící nabíjecí zařízení, což je trubková vestavba, kterou stoupá voda jako komínem tak dlouho, dokud nedosáhne vrstvy o stejné teplotě.

Tepelné ztráty zásobníků výrazněji zvyšuje přirozené proudění top. media do rozvodů, kde se ochlazuje a stejným potrubím (ve spodní polovině průřezu) se vrací zpět do zásobníku. Dá se tomu zabránit jednoduchým řešením buď armaturou, nebo potrubním termosifónem.

b) Zásobníky pro dlouhodobé ukládání tepla

První projekty s dlouhodobými zásobníky tepla byly realizovány teprve v posledních 15ti letech. Zásobníky se provozují v rozmezí teplot 30°C až 95°C. Aby se tato technika mohla na trhu v dohledné době uplatnit, je nutno snížit náklady a zvýšit účinnost. Pro sezónní zásobníky tepla přichází jako medium v úvahu kromě vody také přirozený materiál (zemina). Rozhodnutí o užití určitého typu zásobníku závisí především na místních poměrech, na objemu a zvláště na geologických a hydrogeologických poměrech půdního horizontu daného místa. K minimalizaci tepelných ztrát musí mít zásobníky tepelnou izolaci a prokazovat malý poměr povrchu k objemu (P/O – poměr).

Velikost zásobníku je vždy určitým kompromisem mezi technickým návrhem a investičním nákladem. Při zvětšujícím se objemu klesají měrné ztráty, ale investiční náklad stoupá. Zde jsou míněny absorpční plochy kolektorů několik set až tisíc m^2. Organizovat takové projekty je však v současné době náročné. Ideální je využít stávajících nádrží, které postačí upravit a utěsnit (fólie). Je to málo využívaná možnost v České republice, avšak vyplatí se hledat tyto příležitosti již při vytváření investičního záměru.

Technika dlouhodobého ukládání tepelné energie se nachází dosud ve vývoji. Zatím neexistuje žádný standardní koncept.

Konkrétní typ zásobníku musí vždy ladit s navrženým solárním systémem. V opačném případě se snižují roční solární zisky. Měřítkem by neměla být investiční cena, nýbrž roční solární výnosy, opakující se 25 – 30 let.

V podmínkách české solární techniky se dlouhodobé zásobníky použily výjimečně, pouze v pilotních projektech.

9.1.8 Teplonosná media

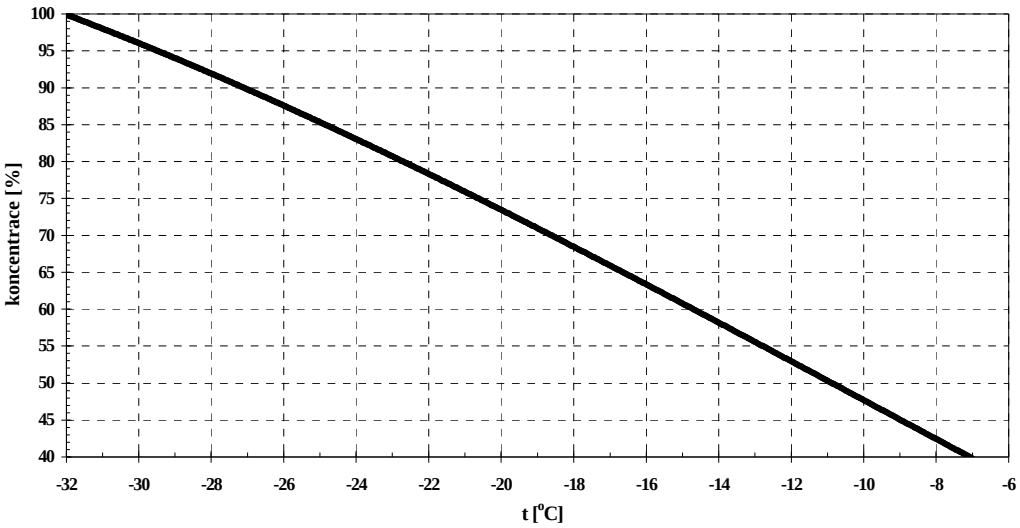
S ohledem na celoroční využívání solárních soustav (vyjma ohřevu bazénové vody) je nutno jako teplonosné medium používat takové kapaliny, u kterých nedochází za běžných klimatických podmínek k zamrznutí, respektive k roztržení potrubí. Pro tento účel jsou využívány směsi etylenglykolu a propylenglykolu s vodou.

V některých zvláštních případech slouží jako oběhové medium vzduch. Je pravda, že jde o bezpečné medium, avšak jeho velmi nízká hmotnost a měrné teplo jej handicapují pro běžné soustavy.

Dříve byly používány také „termooleje“. Vzhledem k velkým nárokům na kvalitu čerpadel, expanzní nádrže, pojistné ventily a těsnění, se prakticky neosvědčily.

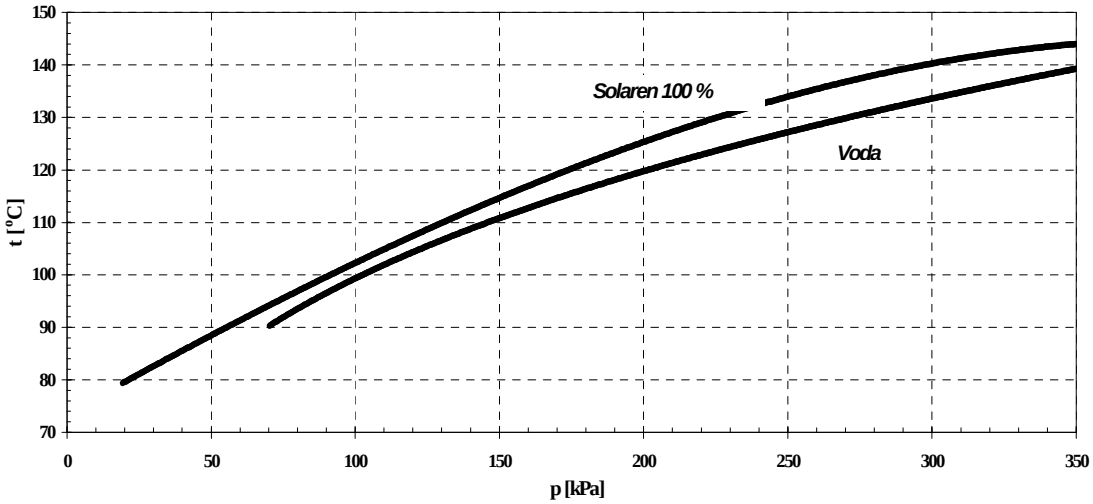
Také zdraví nebezpečný etylenglykol je nahrazován nezávadným propylenglykolem (také v potravinářství).

Mrazuvzdorná směs propylenglykolu spolehlivě zabraňuje poškození soustavy, přičemž soustava zůstává provozuschopná. Vyšší viskozita pouze zvyšuje tlakové ztráty při proudění potrubím. Závislost bodu tuhnutí na koncentraci je vidět z grafu 5, pro český přípravek Solaren, přizpůsobený pro solární soustavy :



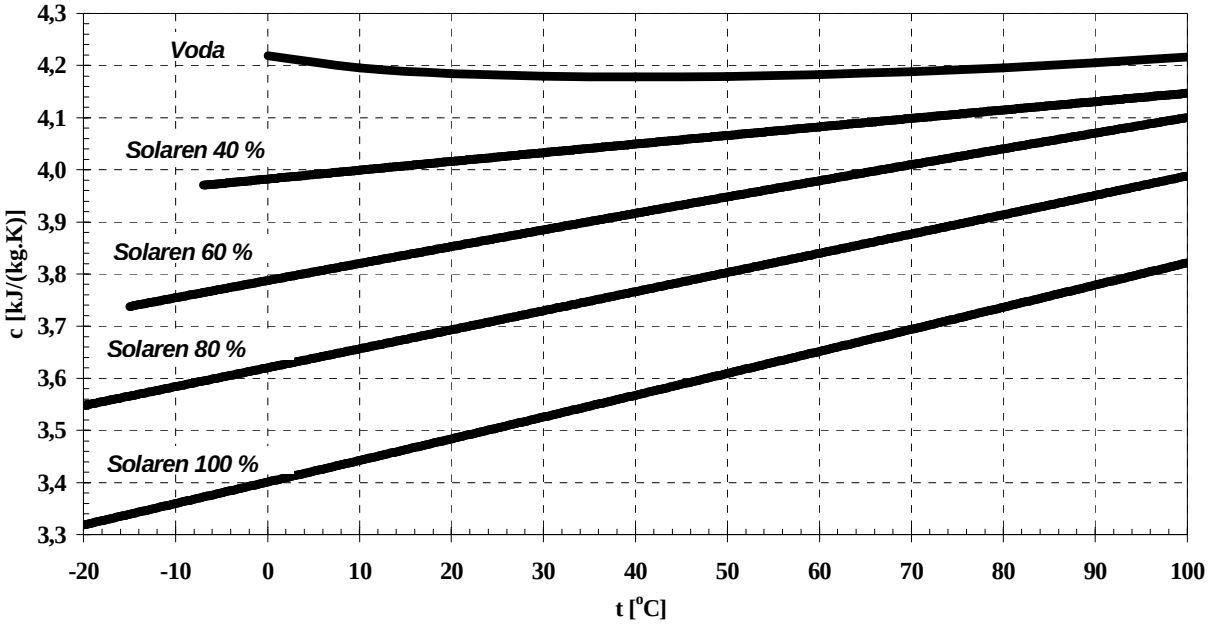
Graf 6. Závislost koncentrace Solarenu a teploty tuhnutí [7]

Naopak bod varu je především závislý na tlaku v potrubí a s narůstajícím tlakem se zvyšuje.



Graf 7. Porovnání bodu varu Solarenu při koncentraci 100%
a vody při různém absolutním tlaku [7]

Při dimenzování je nutné počítat se zvýšením oběhového množství na přenos stejného množství tepla. Například při koncentraci 80% a teplotě 30°C je pokles tepelné kapacity o cca 15%.



Graf 8 Porovnání měrných tepel vody a směsi Solarenu [7]

Tlakové ztráty jsou rovněž vyšší hlavně při nižších teplotách. Přesnější hodnoty pro různé koncentrace, dimenze a materiály potrubí, je možno zjistit z tabulek [7].

Jelikož glykol může způsobit poškození exp.nádob a vyžaduje vyšší výkon čerpadel, je třeba nepoužívat koncentrace glykolu přes 50%. Pro informaci je nutno uvést, že 100% Solaren má cca 50% glykolu.

9.1.9 Speciální solární soustavy

Na základě vývoje solárních soustav a zvláště jejich komponentů dochází k dalším novým aplikacím. Umožňuje to také množství zkušeností s provozováním solárních systémů a také systematického vyhodnocování jako např. „Solartermie 2000“.

Níže jsou uvedeny soustavy, které jsou v tuzemsku zatím málo rozšířené a čeká je teprve větší uplatnění.

9.1.9.1 Fasádní integrace kolektorů

Hlavním prvkem fasádních systémů jsou kolektory přizpůsobené pro montáž ve svislé poloze na fasádách budov. Jelikož se jedná o souvislé plochy, zásadní roli hrají uložení kolektorů v dokonale rovinném uspořádání.

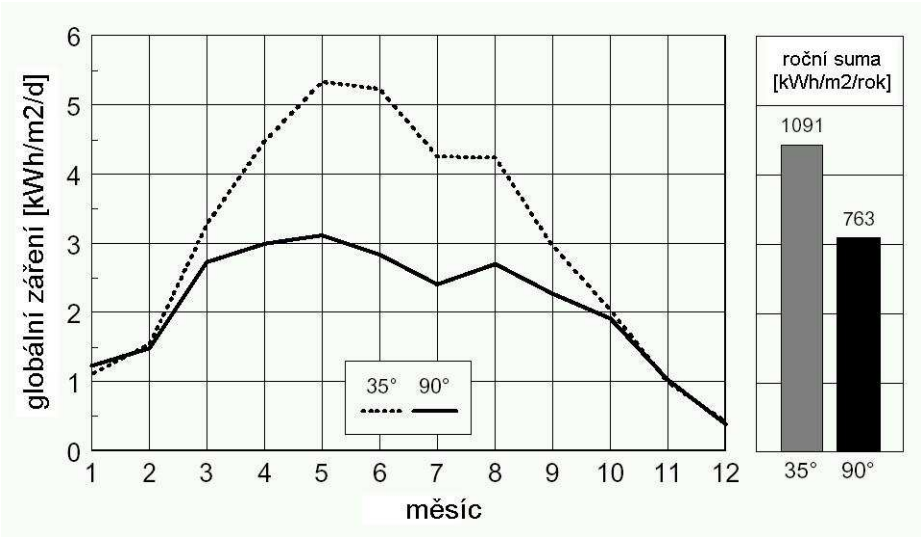
Fasádní solární kolektor je standardní kapalinový solární kolektor integrovaný do obvodové konstrukce budovy. Kolektor se skládá z absorbéru (neselektivní, selektivní), meziprostoru, bezpečnostního zasklení a izolace kolektoru. Další tepelná izolace v tloušťce 60 – 120 mm není částí kolektoru, je společná s obvodovou konstrukcí. Čímž celková tloušťka izolace dosahuje 120 – 180 mm. Fasádní kolektory se zpravidla dodávají jako velkoplošné instalační panely pro kontaktní montáž k obvodové konstrukci domu. Fasádní kolektor může být tepelně svázán s obvodovou stěnou budovy nebo může být oddělen vzduch. mezerou.

Jako opěrná konstrukce může být použita stavební obvodová konstrukce. Hlavní funkce fasádního integrovaného kolektoru je samozřejmě ta, že slouží k zisku solární energie. Dodatečně tradiční tepelná izolace budovy je zlepšena a transparentní kryt slouží jako povětrnostní ochrana fasády. Konečně integrace do stavebního pláště je zpravidla dalším esteticky přijatelným způsobem, jak umístit sluneční kolektor na fasádu, a to může proměnit fasádní integrovaný kolektor v zajímavý architektonický prvek.
Omezení použití fasádních integrovaných kolektorů je v dostupnosti dostatečně volné a nestíněné plochy fasády.

Sluneční záření

Hlavní nevýhoda fasádních integrovaných kolektorů je ve snížení roční sumy záření na fasádu asi o 30% (pro lokality kolem 50. stupně zeměpisné šířky) ve srovnání s optimálně nakloněným povrchem. Pro různá evropská klimata by mohlo být ukázáno, že ve vyšších stupních zeměpisné šířky je toto snížení nižší a naopak pro nižší zeměpisné šířky je vyšší. Např. ve Stockholmu (60° severní) je stupeň ozáření na jižní fasádě a optimálně nakloněné ploše 0,76, kdežto v Madridu (40° severní) bude dosažen pouze stupeň 0,64.

Obrázek 4 ukazuje pólový graf s čarami rovnajícími se roční dávce ozáření na plochách s různými úhly skonu azimutu pro umístění v lokalitě na úrovní 52° severní šířky.



Obr.5. Schéma ročního profilu průměrného denního záření [9, 10]

V zimě je globální suma záření na obou plochách téměř stejná, přičemž ozáření na svislém povrchu je vyšší než na povrchu se skonem 35° (na střeše).

Jeden efekt, který nebyl brán v úvahu je, že střechy v zimě mohou být zasněžené, kdežto svislé povrchy mají prospěch ze zvýšené odrazivosti země, to vede k dalšímu příjmům záření (účinek zvětšení zimního součinitele odrazu). Účinek vrstev prachu na střeše i na fasádních kolektorech je očekáván malý, a proto může být zanedbatelný.

Fasádní solární systém je novým prvkem při snižování energetické náročnosti budov i pro architektonické řešení vzhledu budovy.

Nová Energetická vyhláška (přesněji „Vyhláška o energeticky úsporné tepelné ochraně a energetiky úsporných tepelných zařízeních“) vyžaduje důkaz o spotřebě energie (výpočtem) a povoluje maximální hodnoty pro roční spotřebu primární energie. K dosažení energetické efektivnosti lze volit dvě z možných cest – stavební a technologickou. Nově z vyhlášky vyplývá, že se hodnotí spotřeba prvotních energetický zdrojů, ne pouze spotřeba tepla v budově. V tomto směru solární systémy výrazně snižují spotřebu těchto zdrojů, neboť je nečerpají resp. pouze pro pohon čerpadel, což je zanedbatelné.

Na základě údajů o trvale se zvyšujícím prodeji fasádních kolektorů se dá očekávat rozšíření solárních systémů i na fasády. Hromadně použití komponentů bude směřovat k významnému snížení měrných nákladů na kolektory. Dále úspora nákladů na zateplení fasády pod kolektorovou plochu sníží měrnou cenu. V těchto souvislostech se očekává snížení specifické ceny fasádních integrovaných kolektorů pod cenu kolektorů montovaných na střechách.

Využíván by měl být přednostní kontaktní způsob montáže kolektorů bez zadní odvětrávané mezery. Sníží se tak tepelné ztráty při prostupu tepla a zvýší účinnost kolektoru. Je to podmíněno bilancí vlhkosti, což závisí na vnitřním klimatu v budově. U suchých provozů včetně obytných budov je možno tento způsob používat.

Nižší množství dopadající sluneční energie je dále z části vyrovnáváno vyšší celkovou účinností, způsobenou nižší přirozenou konvekcí ve vzduchové mezeře mezi absorbérem a skleněným krytem.

Od doby, kdy fasáda je reklamou budovy, jsou návrhy na estetický vzhled i tech. řešení více důležité. Fasádní kolektory mají schopnost se stát architektonickým prvkem při řešení vzhledu budovy. Možnosti jsou následující:

- barevné povrchy absorbéru, selektivně komponované
- dekorativní úprava povrchu panelů
- plošně vyrovnávané fasády
- různé délky i šířky panelů, nepravidelné tvary

Rozšířený fasádní systém je složený systém tepelné izolace, který je vhodným ekonomickým řešením pro novostavby jakož i pro dodatečnou montáž. Energii nejen šetří, ale i aktivně získává.

9.1.9.2 Využití balkónových ploch

Snaha využít solární energii ve stávající bytové zástavbě často naráží na limitující faktory jako jsou malá plocha střechy u vyšších objektů nebo fasády orientované mimo jižní azimut. Právě zde se naskýtá možnost využít balkony event.lodžie otočené směrem k jihu.

Koncepčně je možno takovou soustavu řešit jako jednu soustavu pro celý dům, nebo jako řadu malých soustav pro jednotlivé byty. Vzhledem k tomu, že měrný náklad na takový mini solární systém je podstatně vyšší a nastává problém s umístěním solárního zásobníku a rozvodným potrubím v bytě, taková soustava ještě nebyla realizována ve větším počtu bytů.

Solární soustava s balkónovými kolektory pro celý dům již realizována byla. Měrný investiční náklad byl nižší než u běžných soustav. Umístění sběrného potrubí nečinilo problém a celkový vzhled budí dobrý dojem.

Návrh soustavy je z hlediska koncepce stejný jako u ostatních soustav. Zásadní je sklon kolektorů, který určuje množství zachycené solární energie. Např. při úhlu naklonění kolektoru 75°se zvýší roční množství dopadající energie o 15% oproti svislé ploše. Při úklonu 60°se zvýší o dalších cca 8%, což je 93% ročního optimálního záření.

Pro balkónové použití se používají kolektory o výšce cca 1m a délce dle provedení balkonu. Uchycení je třeba řešit vždy individuálně. Při běžném počtu osob v bytech, tj. 3 – 4 obyvatelé, je možno potřebnou plochu na lodžiích a balkónech umístit. Problém by mohl nastat u staré zástavby, kde balkony byly provedeny v šířce jednoho okna.

Orientace balkónu do 30°východně nebo 35°západně sníží solární zisky pouze o 3 – 5%, což je možno nahradit ekvivalentem absorpční plochy.

Využitím částí ploch balkónů je možno snadným způsobem rozšířit spotřebu čisté solární energie a snížit produkci emisí skleníkových plynů. Opakovaným uplatněním solárních ploch na balkónech celého domu je dosaženo působivého estetického vzhledu.

9.1.9.3 Solární chladící systémy

Nejen nové exkluzivní provedení staveb, ale stále více i klimatické vlivy zvyšují potřebu energie pro chlazení a klimatizaci exponovaných prostor. Chladící systémy využívající teplo slunečního záření jsou perspektivní možností snížení energie pro chlazení, v současné době převážně vyráběné z fosilních paliv. Chladící zařízení poháněné převážně elektrickými kompresory nejen zvyšují spotřebu, ale současně vytvářejí letní odběrové špičky.

Solární tepelná energie může být využita nejen v průmyslových tepelných procesech, ale také při solárním chlazení. Generovat chlad pomocí solární energie je nejen slibná možnost aplikace, ale otvírá nové široké pole možného použití.

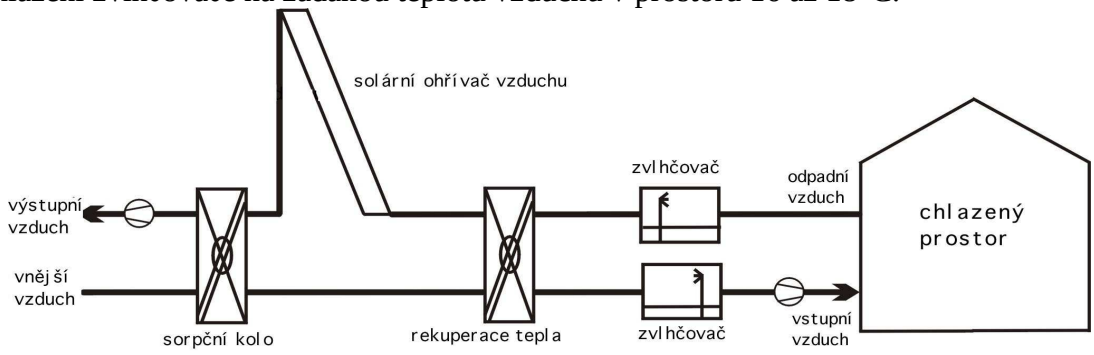
Jestliže se podaří využít kolektory v zimě pro podporu vytápění prostor, jakož i v létě pro klimatizaci, dojde k optimálnímu využití těchto kolektorů. To může vést k redukci doby amortizace celého solárního zařízení.

Trend ke chlazení je velmi výrazný obzvláště v kancelářských budovách s vysokými vnitřními zátěžemi, jakož i v dnešních typických budovách. V novostavbách obytných budov naproti tomu by potřeba chlazení neměla v důsledku inteligentního projektování pokud možno vůbec vzniknout.

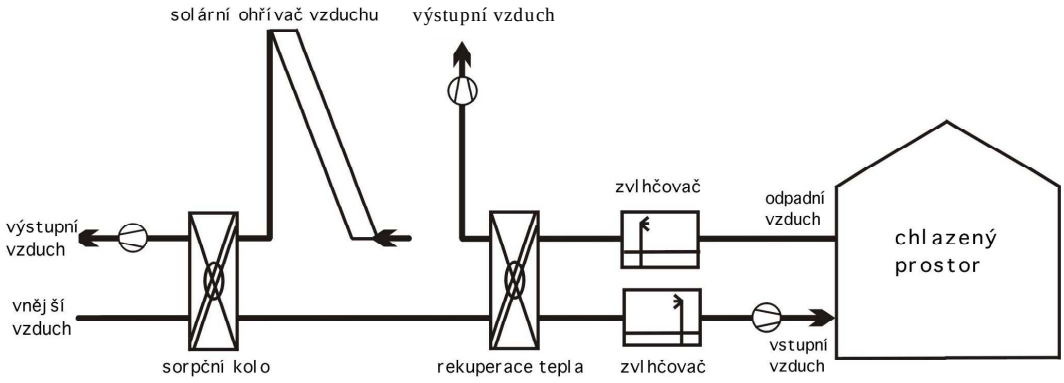
Existují různé druhy solárních technologií chlazení, přičemž je třeba rozlišovat mezi výrobou chladu a klimatizací. Typický příklad klimatizace představuje klimatizace na principu sorpce.

U ní představuje teplotní úroveň pohonu 60°C až 90°C ideální základ pro využití tepla ze solárních kolektorů. Klimatizace na principu sorpce, krátce nazývaná SGK, se uvádí též pod pojmy pocházejícími z americké angličtiny „desiccant cooling systems“, krátce DCS nebo „desiccative and evaporative cooling“, krátce DEC. Tato zařízení se dají dělit na solárně nezávislá a na solárně podporovaná zařízení. U solárních nezávislých zařízení jsou solární kolektory jediným dodavatelem tepla. Solárně podporovaná zařízení dodávají pouze část potřebného tepla, zbytek dodává Back-up systém.

U zařízení DEC je třeba „odvlhčení“ a „chlazení“ uvažovat odděleně. Vzdušná vlhkost se redukuje adiabatickým odvlhčením vnějšího vzduchu pomocí sorpčního prostředku jako je silikagel nebo chlorid lithia. V současnosti se instalují zařízení s rotujícími sorpčními koly. Jako nosiče silikagelu se používají skelná nebo keramická vlákna a pro LiCl celulózová matrice. Aby se udržel kontinuální provoz, probíhá v protiproudu desorpce teplým vzduchem v pomalu rotujícím sorpčním kole. Při regenerační teplotě 70°C se udává odvlhčovací výkon až 6 g vody na kg suchého vzduchu. Zde může dojít využití energie ze solárních zařízení nebo i odpadní teplo, pro pohon sorpčního kola je zapotřebí elektrické energie. Oproti odvlhčení podkročením rosného bodu je možné u sorpčního odvlhčování vyhnout se vytápění. Za sorpčním kolem má vnější vzduch v důsledku vazebného tepla vyšší teplotní úroveň než výstupní vzduch prostoru, který je třeba klimatizovat, proto probíhá rekuperace tepla, vlastně "rekuperace chladu", ke snížení odvlhčeného vnějšího vzduchu v rotujícím rekuperačním kole. Následně se tento upravený vnější vzduch přivede pomocí vypařovacího chlazení zvlhčovače na žádanou teplotu vzduchu v prostoru 16 až 18°C.



Obrázek 6: otevřený sorpční systém s uzavřeným vedením odpadního vzduchu [8]



Obrázek 7: otevřený sorpční systém s otevřeným vedením odpadního vzduchu [8]

Na obrázku 6 je předveden nákres systému jednoduchého klimatizačního zařízení na principu sorpce se solárními kolektory. Na uvedeném náčrtku, v systému s uzavřeným vedením odpadního vzduchu, se odpadní vzduch za rekuperačním kolem otepluje v tepelném kolektoru, vede se sorpčním kolem a následně se vyfoukne. Možná varianta, viz obrázek 7, představuje systém s otevřeným vedením odpadního vzduchu. Zde se vzduch z prostoru, který je třeba vyvést, za rekuperačním kolem vyfoukne. Vnější vzduch se ohřeje v kolektoru, tzn. přivede se na regenerační teplotu, vede se sorpčním kolem a zase se jako vstupní vzduch vyfoukne. Tento systém se nasazuje především tehdy, když je vzduch v prostoru příliš zatížen, např. kuřáky nebo zcela obecně když se má zabránit, aby se např. baktérie z odpadního vzduchu dostaly znovu do vstupního vzduchu. U tohoto systému je třeba na straně odpadního vzduchu dvou ventilátorů, avšak potrubí z rekuperačního kola ke kolektoru lze uspořit.

Další možnost dělení je dána typem použitého kolektoru. Na jedné straně se rozlišují, jak již bylo vysvětleno, systémy se solárními vzduchovými kolektory a na straně druhé systémy se solárními kolektory kapalinovými. U druhé varianty systému se nasazují vakuové a ploché kolektory.

Tyto uvedené základní systémy připouštějí řadu variant zařízení. Možný příklad představuje varianta se solárními kapalinovými kolektory a zásobníkem s Back-up systémem. Energie ze solárních kolektorů uložená v zásobníku se předává tepelným výměníkem proudu odpadního vzduchu. Pokud by tepelná energie pro regeneraci sorpčního kola neměla vystačit, dá energii k dispozici přídavný systém.

Již na tomto jednoduchém popisu možných variant systému je zřetelně vidět, že solárně podporovaná sorpční klimatizace poskytuje široké spektrum možností systému pro solární klimatizaci. Již provedená zařízení jak se solárními vzduchovými kolektory, tak s kolektory kapalinovými ukázala, že realizace těchto variant je také korunována úspěchem a že jsou možné systémy s vysokou účinností.

Jednou z mála realizovaných staveb se solárním chlazením je budova Evropské agentury pro rekonstrukci Kosova v Prištině. Budova, rekonstruovaná 2002/2003, má 2 300m^2 kancelářské plochy. Je to první komerční zařízení v oblasti solárního chlazení. Energii pro chlazení zajišťuje kolektorové pole o absorpční ploše 227m^2 na střeše a jižní fasádě domu, sousedí s budovou Evropské agentury. Použity jsou dva chladící absorpční agregáty o výkonu 90kW. V zimních měsících, které jsou v Kosovu dostatečně slunné slouží solární soustava kromě ohřevu teplé vody (TUV) i k podpoře vytápění. Předností kombinace solární soustavy s chladícím soustrojím je využití největší solární nabídky v době největší potřeby chlazení, zejména v letním období od cca 11 do 17hod.

Priština byla jako lokalita volena mimo jiné proto, aby se přispělo k odlehčení tamní elektrické sítě a také k redukci emisí, produkovaných použitými nouzovými dieselovými agregáty v době špičkové potřeby elektrické energie. Potřeba el.energie pro provoz absorpčního chladícího agregátu činí méně než 1/5 původní potřeby.

Dalším argumentem je životnost použitých zařízení. Současné chladící el.agregáty vykazují životnost cca 10 – 15 let, zatímco absorpční chladící zařízení má životnost více než 20 let a je shodné s životností solárního zařízení. Jde o vyladěný systém „solární soustava – chladící zařízení“.

Technická data :

Chladící výkon	108 kW	chladící agregáty 90 kW
Topný výkon	170 kW	podpora pro špičkový chladící výkon 30 kW
Kolektorové pole	227 m^2	realizace 2003
Vyrovnávací zásobník	4 m^3	zásobník studené vody 1m^3

Tab. 8 Solární chladící systém

Technologie	Uzavřené okruhy		Otevřené okruhy	
Chladící okruh	uzavřený chladící okruh		chladivo (voda) v kontaktu s atmosférou	
Princip	výroba studené vody		Vysušování vzduchu a chlazení vypařováním	
Sorpční látka	**pevná**	**tekutá**	**pevná**	**tekutá**
Chladivo / sorpční látka	voda/silikagelamoniak /sůl	voda/vodalithium-bromidamoniak/ voda	voda/ silikagelvoda/ lithiumchloridcelulóza	voda/chlorid vápenatý, voda-lithium-chlorid
Technologie na trhu	Adsrpční chladící zařízení	Adsrpční chladící zařízení (jedno a dvoustupňové)	Klimatizace založená na sorpci	-
Chladící výkon dostupných technologií	70 – 1 0050 kW	50 kW do >5MW (jednostupňové) 250kW do >5 MW (dvoustupňové)	20 kW – 350kW	-
Koeficien výkonnosti	0,3 – 0,7	0,6 – 0,75 (jednostupňové) 1,0 – 1,2 (dvoustupňové)	0,5 >1	>1
Typická teplota ohřevu	60 – 90°C	75-110°C (jednostupňové) 140-180°C (dvoustupňové)	45 – 95°C	45 – 70°C
Solární technologie	ploché kolektory, vakuové kolektory	ploché kolektory se selektivním povrchem, vakuové kolektory	ploché kolektory, vzduchové kolektory	ploché kolektory, vzduchové kolektory

9.1.10 Návrh solárního systému

Kvalitní projektové řešení je základní podmínkou pro realizaci solární soustavy úměrné konkrétní potřebě tepelné energie. Jen tak se dají vyloučit chyby, jejichž následné odstraňování může být nákladné. I když intenzita solárního záření může dosáhnout 900 W/m^2, rozhodující jsou reálné množství dopadající energie v jednotlivých měsících. Ty se liší od cca 180 kWh/m^2,měs. (červen, červenec) až po 21kWh/m^2,měs. (prosinec). V přechodném období, jako jsou březen a září se pohybují od 100 do 120 kWh/m^2,měs.

Z těchto reálných hodnot musí vycházet celá strategie dimenzování solární soustavy. V letním období je možné počítat s úplným solárním ohřevem teplé vody (TUV), kdežto ve zbývajícím období je nutné využívat stávající ohřev topnou vodou na žádanou hodnotu. Důležité je, že v celoročním úhrnu dochází k cca 50 až 65% provozním úsporám tepelné energie. Ohřev je zvláště výhodný tam, kde je celoroční a pokud možno vyrovnaný odběr teplé vody jako jsou obytné budovy a komunální budovy.

Jako orientační hodnota solárního zisku z 1 m^2 absorpční plochy je možné při ohřevu teplé vody počítat 370 – 450 kWh/m^2 rok. Při nižším solárním pokrytí (např. 30 – 40% roční potřeby tepla) je možno brát v úvahu vyšší hodnotu, při vysokém pokrytí spíše hodnoty nižší.

Druhým zařízením, neméně důležitým jako solární kolektory, jsou zásobníky – akumulátory tepla. Úkolem zásobníku je vyrovnávat disproporci mezi okamžitou solární nabídkou tepelné energie a nerovnoměrnosti spotřeby teplé vody. Kvalitní zásobníky mají zařízení pro tepelné rozvrstvení vody, což významně snižuje množství dodatkové energie pro dohřev teplé vody. Velikost zásobníku určuje především nerovnoměrnost spotřeby teplé vody během dne a během týdne. Při více rozkolísaném odběru je nutno volit větší zásobník. Běžně objemy zásobníku se pohybují v rozmezí 30 – 70 lt/m^2 absorpční plochy kolektoru. V těchto případech se vždy jedná o krátkodobou akumulaci na období 1 – 3 dnů. Sezónní zásobníky (pro dlouhodobou akumulaci) používané především pro přitápění budov mají mnohonásobně větší objemy (několik set až několik desítek tisíc m^3). Tyto speciální projekty je nutné posuzovat zcela samostatně a účelově.

Faktory, které ovlivňují zisk solární soustavy, jsou uvedeny níže. Zisk tepla ze solárního kolektoru (brutto zisk) je závislý na těchto činitelích:

- velikosti kolektoru, tj. ploše kolektoru,
- konstrukce, resp. charakteristiky kolektoru (selektivní, vakuovaný, atd.),
- způsoby využívání, resp. provozní podmínky, střední teplota kolektoru,
- počasí na stanovišti, zejména sluneční záření, dále venkovní teplota a vítr,
- situace na staveništi, tj. orientace a sklonu kolektoru a stupeň zastínění stromy, jinými budovami, apod.

Tento brutto zisk tepla, který může být zjištěn různými cestami, je obvykle větší než zisk využitelné energie (netto – zisk), který je uživateli k dispozici v podobě teplé vody. Vlivem sezónní nabídky, časového posunu mezi nabídkou a potřebou a nevyhnutelných tepelných ztrát, není část energie využita.

Velký vliv na výnos a tím i potřebu dodatečného dohřívání má způsob provozování soustavy, který má přímý vliv na ostatní části soustavy.

- Objem zásobníku musí být dostatečně velký, aby překonával výkyvy mezi nabídkou a poptávkou. Nemá být ovšem zase příliš velký, aby se nezvyšovaly jeho tepelné ztráty.
- Průtok teplonosného média určuje při daném záření zvýšení teploty kolektoru a tím do jisté míry jeho střední teplotu.
- Kvalita tepelného vrstvení v zásobníku rozhoduje o tom, jaké má být dohřívání cizí energií.
- Teplosměnná plocha tepelného výměníku v kolektorovém okruhu má vliv na tepelný spád mezi kolektorovým okruhem a médiem v zásobníku a tím i na střední teplotu kolektoru.
- Průměr potrubí, jeho délka i izolace mají vliv na tepelné ztráty v okruhu a určují i rychlost náběhu proudění. Lze proto doporučit malé, ale dostatečně propočtené průměry trubek (závislé na protékajícím médiu a rychlosti jeho proudění), krátké cesty a izolaci všeho potrubí okruhu.
- Strategie řízení a nastavitelný rozdíl teplot mezi spínáním a vypínáním oběhového čerpadla je třeba volit tak, aby umožňovaly co nejlepší tok energie od kolektoru do zásobníku.

- Čerpadlo v solárním okruhu musí být tlakově a průtokem (hydraulicky) navrženo tak, aby spotřebovávalo co nejméně energie. Tlaková ztráta v okruhu závisí přitom na průtoku teplonosného média, druhu a velikosti tepelného výměníku, průměru a délce potrubí, strategii řízení a rovněž na druhu a počtu dalších armatur.
- Velikost expanzní nádoby je určena objemem soustavy a zvláště objemem kolektorů (vliv páry).

Vedle energeticko-technických hledisek si samozřejmě zaslouží pozornost také ekonomické aspekty. Při dimenzování soustavy je zapotřebí optimalizovat cíle energetické, ekonomické i technické. Pro lepší přehlednost bude následující úvaha zaměřena na konstantní potřebu energie v průběhu celého roku, což je právě případ obytných budov, komunálních objektů a zařízení sociální péče.

9.1.10.1 Strategie maximálního krytí potřeby

Jednou z možností je stanovení rozměrů kolektorů a ostatních dílů soustavy s cílem maximálního pokrytí potřeby (stupeň solárního pokrytí $D_S > 70\%$), tedy i v době s menším zářením. Tento požadavek vede u solárních soustav pro ohřev užitkové vody (a tím spíše u solárního vytápění) k velmi velkým kolektorovým plochám a úměrně velkým zásobníkům, ale i velkým přebytkům energie (tzn. ztrátám tepla) v letních měsících. Takové soustavy přirozeně produkují mnoho tepla, jsou drahé a svými letními přebytky marnotratné, proto nehospodárné. Jsou svým způsobem srovnatelné s autem se 120 koňskými silami, s nímž se jezdí převážně jen v denní špičce do práce.

9.1.10.2 Strategie optimalizovaného zisku

Opačná filozofie plánování vede přes optimalizaci měrného zisku z kolektoru tak, aby se získaná solární energie držela v přijatelném rozmezí a případně konkurovala cenově jiným zdrojům energie (stupeň solárního pokrytí $D_S < 40\%$). To se pak podaří nejlépe, když je všechna energie získaná kolektorem spotřebována a nevznikají žádné přebytky. Deficity v nabídce musí být vyrovnány cizí energií. Tato tendence vede k relativně malým plochám kolektorů a objemům zásobníků, tedy k cenově přiměřeným soustavám. Teploty v kolektorovém okruhu zůstávají přitom relativně nízké, což má za následek dobrou účinnost kolektoru a hospodárný provoz. Tento koncept je zajímavý a je používán u velkých solárních soustav, např. pro přípravu teplé užitkové vody ve vícebytových domech, nebo u solárního přitápění v blokových systémech zásobování teplem, kde kryjí jistou základní potřebu tepla (tzv. předehřívací soustavy).

Soustavy s optimalizovanou potřebou a cenou

Soustava optimalizovaná z hlediska krytí potřeby i zisku (ceny), je kompromisem mezi oběma filozofiemi: velikost kolektorové plochy a ostatních částí soustavy jsou voleny tak, že se docílí na jedné straně co možná největší solární výnos, resp. optimální energetické využití, při pokud možno nízkých nákladech na straně druhé (stupeň solárního krytí $40\% < D_S < 60\%$).

Hospodárného optima je dosaženo, pokud jsou roční náklady (kapitálové a provozní) pro získání využitelného tepla minimální. Do propočtu optimalizace vstupují následující faktory:

- potřeba tepla
- množství slunečního záření
- tepelné zisky z kolektoru (závisí na druhu konstrukce a celkovém provedení),

- systémová cena (celková cena všech komponent – kolektorů, zásobníku, řízení, atd. – vztažená na jeden metr čtvereční plochy kolektorů)
- ekonomická data(investiční náklady, provozní náklady, kapitálové úročení, doba amortizace, životnost, atd.)

Pro solární soustavy určené k přípravě teplé užitkové vody přichází v úvahu právě tento princip optimalizace mezi potřebou a cenou.

Solární zařízení je zpravidla dimenzováno tak, aby v létě pokrylo 100% potřeby. Pro překlenutí dob s nízkým slunečním svitem je třeba mít při shora uvedeném kritériu pro dimenzování mimo to ještě zásobník tepla. Vyplyne z toho podíl na roční potřebě 40 – 60 procent. Přesné dimenzování je vhodné provést v konkrétním případě. V této souvislosti je nutno prověřit také místo, které je k dispozici pro instalaci. Pro ploché kolektory s plochou 500 m^2 je nutno dnes počítat s kompletními investičními náklady ve výši 7 – 10 mil. Kč. Životnost takového zařízení činí cca 25 let, doba návratnosti počítána bez podpory je u velkých systémů okolo 20 let. Přitom je nutno počítat s nárůstem cen energií, se kterými se náklady na solární teplo porovnávají; doba návratnosti se tak bude stále snižovat. Podstatnou ekonomickou výhodou solárních systémů je okamžité snížení provozních nákladů.

Při použití podpor poskytovaných EU a státem v oblasti bytové a komunální sféře (dotace 50 – 70% pořizovacích náklady) lze v současnosti počítat s dobou návratnosti zařízení přibližně 4 – 7 let. Navíc lze například shora uvedeným zařízením docílit snížení emisí CO_2 cca 45t/rok.

Solární systém s přitápěním

V posledních letech se stále více uplatňují kombinované solární soustavy, které vedle přípravy teplé vody slouží také k vytápění budov. Příčiny tohoto stavu jsou dvě :

- podstatně se zpřísnily požadavky na tepelně technické vlastnosti budov, v některých z nich již dnes potřeba tepla pro přípravu teplé vody celoročně převyšuje potřebu tepla pro vytápění; topné systémy, v nichž teploty na vstupu a vratné vody byly dříve dimenzovány např. na 90/70° C, nyní však pouze 55/40°C nebo méně v závislosti na venkovní teplotě. Podlahové systémy mají pracovní teploty např. 35/25°C.
- pokrok solární techniky, zejména zlepšení techniky zásobníků, především vývoj zásobníků s nabíjením teplem v několika vrstvách (stratifikace)

Solární systém je ve většině případů propojen s konvenčním zdrojem tepla, většinou plynovými kotli. Při volbě propojení systému je třeba rozlišovat mezi topnými kotli a regulovaným výkonem (tzv. modulačními kotli) a neregulovatelnými kotli, s relativně konstantním výkonem.

U modulačních kotlů lze přizpůsobit výkon ve velkém rozmezí potřebě tepla, zatímco u neregulovatelných kotlů musí být vždy použit tepelný zásobník, z něhož bude teplo pro vytápěcí okruhy odebíráno. Topné okruhy a okruh kotle jsou v tomto případě od sebe hydraulicky odděleny, což představuje řešení pro systém dvou zásobníků: v případě příliš malého výkonu topného kotle může pokrytí špičkové potřeby nabídnout zásobník, který naopak v případě malé potřeby tepla přebytečný výkon kotle přebírá, čímž současně zabraňuje „taktování“ hořáku (opakované zapínání a vypínání).

Z výše uvedených předpokladů vyplývá, že solární přitápění má praktický význam pouze s nízkoteplotní soustavou.

Solární přitápění se zejména z ekonomických důvodů uplatní u některých typů objektů v bytovém a komunálním sektoru a sociální péči (LDN, domovy důchodců, ubytovny, apod.). Při každé rekonstrukci objektu, kde dochází k zateplení obvodového pláště, výměně oken a k výměně otopných soustav, je vždy vhodné již ve stádiu projektování zahrnout i využití termální solární energie a uvažovat též se systémem s přitápěním.

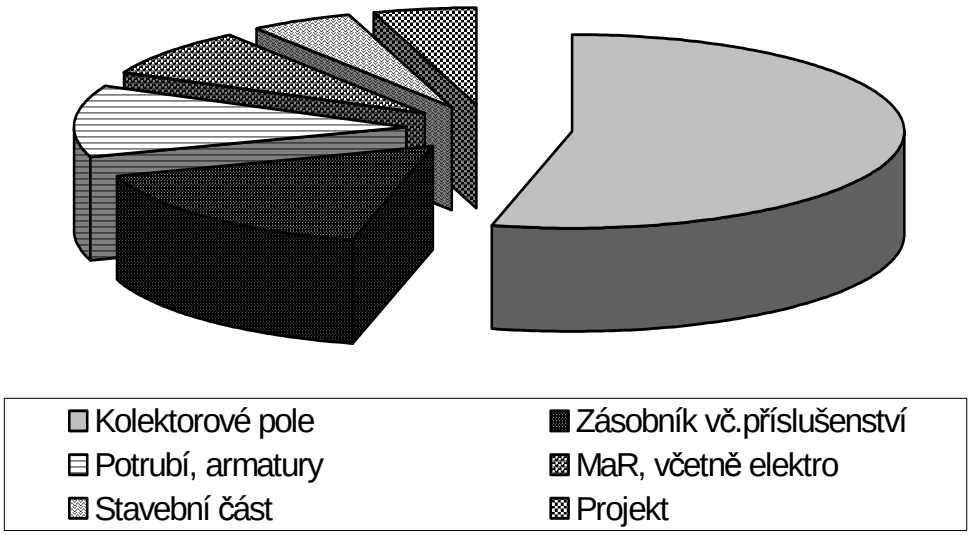
9.1.11 Investiční náklady

Stanovit investiční náklad plánované solární soustavy v době předběžného návrhu lze pouze pomocí systémových cen, tj. měrných cen 1 m^2 absorpční plochy celého systému (kolektory, zásobníky, potrubí, čerpadla, MaR, izolace, stavební část, elektroinstalace). Měrné ceny jsou ověřeny při konkrétních realizacích a relativně přesně v této fázi přípravy projektu vystihují celkový náklad. Ceny samozřejmě nejsou imunní vůči nečekaným anomáliím, které se kdekoli mohou vyskytnout. Systémové ceny různých solárních soustav jsou následující :

Tab. 9 Systémové ceny různých solárních soustav

Velikost kolektor.pole	Využití	Systém.cena
m^2 abs.plochy	-	Kč/m^2 abs.plochy
do 15 m^2	ohřev teplé vody	16 – 22.000,-
do 70 m^2	ohřev teplé vody + přitápění	15 – 20.000,-
do 150 m^2	ohřev teplé vody + přitápění	14 – 18.000,-
nad 200 m^2	ohřev teplé vody	12 – 17.000,-
do 50 m^2	fasádní soustava	25 – 32.000,-
do 150 m^2	fasádní soustava	22 – 28.000,-
do 150 m^2	balkónová varianta	13 – 17.000,-
100 - 200 m^2	solární vytápění + chlazení	individuální

Rozložení nákladů na jednotlivé části a profese se může individuálně lišit podle konkrétních podmínek stavby, v průměru lze uvažovat následující rozdělení. Výraznou položkou jsou kolektory včetně uložení, které u malých soustav činí 38 – 50 %, u velkých soustav pak 53 – 65 %. Příklad rozdělení nákladů pro větší solární soustavu je uveden na grafu :



Graf 9. Rozdělení nákladů pro větší solární soustavu

9.1.12 Provozní náklady

Přímé provozní náklady u solárních systémů jsou oproti jiným obnovitelným zdrojům neobvykle nízké. Představují totiž pouze pomocné energie (elektrická), která činí 2 – 5 % ze solárního zisku. Při standardních solárních ziscích to činí 15 – 32 Kč/GJ.

Pokud bychom chtěli započítat i odpisy investičních nákladů je nutno znát výši dotací, anuitní faktor a přesnější pořizovací náklady.. Z toho je jasné, že výpočet je možno provést pouze pro konkrétní podmínky. Orientačně je možno uvést, že cena solárního tepla včetně všech doplňkových nákladů se bude pohybovat mezi 250 – 450 Kč/GJ.

9.2 FOTOVOLTAIKA

9.2.1 Úvod

Přímá přeměna slunečního záření na elektrický proud je jednou z perspektivních technologií čisté výroby elektřiny.

Běžně se s fotovoltaickými články na čistě tržní bázi, tzn. že jejich skutečná cena je zahrnuta v ceně výrobku, lze setkat v kalkulačkách, hodinkách, zahradních lampách, parkovacích hodinách, nabíječkách akumulátorů. Dále pak jako se zdroji elektřiny pro technická zařízení vyžadující napájení v terénu jako jsou odlehlé měřící stanice, majáky, lodě, karavany. Širšímu uplatnění např. pro zabezpečení potřeby elektřiny v domácnosti brání zatím vyšší pořizovací cena, což vede k jejich nasazení tam, kde by bylo vybudování elektrického vedení pro odběr z centrální sítě velmi drahé.

Jinou kapitolou jsou dotované instalace. V současnosti by si nikdo nepostavil velkou fotovoltaickou elektrárnu na čistě komerční bázi bez jistoty získání části investic z dotačních programů či jistoty fungování jiných podpůrných mechanizmů, jako je např. dlouhodobě garantovaná (a dotovaná) výkupní cena elektrické energie z těchto elektráren ap.

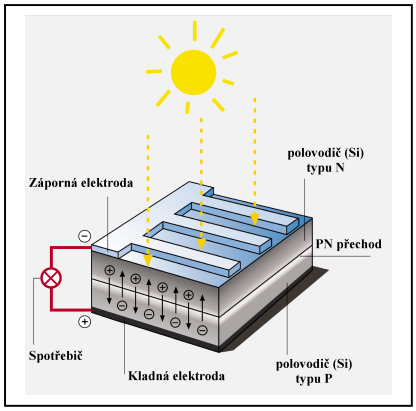
Nicméně je jasné, že s touto technologií využívající obnovitelný zdroj energie je nutné jak v blízké době tak i daleké budoucnosti počítat.

Tab. MVT1 Hrubá světová výroba elektřiny [GWh] z OZE v roce 2003 (**IEA Energy Statistics)**

Komunální odpad	Průmyslový odpad	Tuhá biomasa	Bioplyn	Kapalná biopaliva	Geotermální	Termální sluneční	Hydro	Fotovoltaika	Energie moří	Vítr
44765	17728	120057	18150	0	53735	548	2725824	555	572	63001

9.2.2 Princip a funkce

Princip funkce solárního článku bude vysvětlen na křemíkovém krystalickém solárním článku, který se skládá ze dvou vrstev krystalického křemíku. Jedna vrstva je dotována nejčastěji fosforem a vytváří polovodič typu N, druhá vrstva je potištěna mřížkou stříbra s příměsí hliníku a vytváří polovodič typu P. Ve vrstvě N je přebytek elektronů a ve vrstvě P je jich nedostatek (vytvářejí se tzv. díry). Mezi těmito vrstvami se vytvoří PN přechod (potenciálová bariéra), který zabraňuje přenosu elektronů z vrstvy N přímo do vrstvy P.



Obr. MVOb1 Princip fotovoltaického článku

Dopadem světelného záření se vlivem předávání energie z fotonů na atomy krystalické mřížky uvolňují elektrony, které díky přechodu PN nemohou přecházet do vrstvy typu P a hromadí se ve vrstvě typu N. Stejně tak se v oblasti typu P hromadí díry. Tato nerovnoměrnost rozdělení nosičů náboje vytváří elektrický potenciál (cca 0.6 V). Připojí-li se na elektrody článku elektrický obvod se spotřebičem, začnou elektrony procházet vodičem z N vrstvy, kde je jich přebytek, do vrstvy P.

PN přechod umožňuje snadnější přechod volných elektronů z vrstvy P do vrstvy N, než obráceně z vrstvy N do vrstvy P, čímž je elektrický obvod uzavřen a článek plní funkci stejnosměrného zdroje elektřiny.

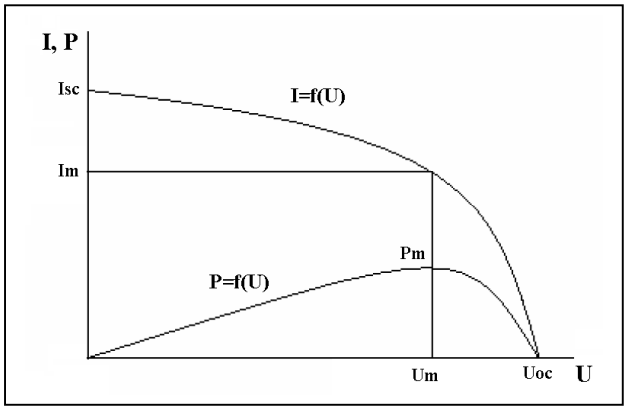
V grafu č. MVG1 je znázorněna charakteristika FV článku, kde jednotlivé čáry představují:

I=f(U) volt-ampérová charakteristika,

P= f(U) výkonová charakteristika (P = U . I) s optimálním provozním bodem (index m).

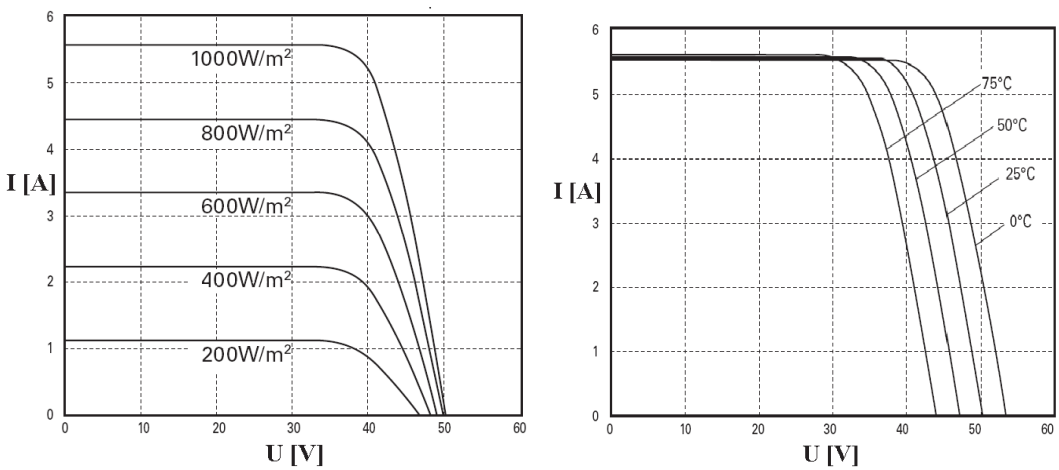
I_{sc} je proud nakrátko, U_{oc} napětí naprázdno.

Pro získání elektrických parametrů požadovaných na straně spotřebiče jsou jednotlivé články propojovány sériově (zvýšení výstupního napětí) a paralelně (zvýšení možného proudového zatížení), čímž je vytvořen fotovoltaický panel.

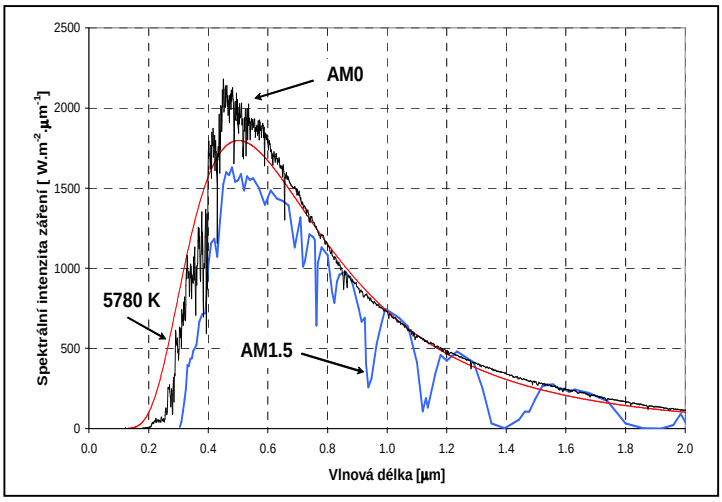


Volt-ampérová charakteristika FV článku, resp. panelu (tzn. i optimální provozní bod) není během provozu konstantní a je závislá mj. na osvitových poměrech a také na teplotě článku, kdy při zvyšující se teplotě hodnota napětí nakrátko klesá, roste ohmický odpor článku a křivka se posunuje k nižším hodnotám napětí. V grafu č. MVG2 jsou vyobrazeny skutečné charakteristiky fotovoltaického panelu pro oba okrajové případy.

Graf MVG1 Volt-ampérová a výkonová charakteristika FV článku



Graf MVG2 Volt-ampérové charakteristiky FV panelu při různých intenzitách dopadajícího záření a konst. teplotě 25°C a různých teplotách při konstantním osvitu AM1.5



Graf MVG3 Spektrum AM0, AM1.5 a černého tělesa 5780 K

Základním ukazatelem fotovoltaického článku, resp. panelu, je jeho špičkový výkon ve wattech, uváděný s označením W_p, neboli tzv. watt-peak.
Tento výkon je dán při osvitu světelným zářením při referenčním spektru AM1.5 (1000 W/m^2), které se považuje za průměrné sluneční spektrum měřené při zenitovém úhlu Slunce 48,19° (výška Slunce nad obzorem 41,81°) na hladině moře, a při teplotě článků 25°C.
V grafu č. MVG3 je provedeno porovnání referenčních spekter AM1.5, referenčního spektra AM0 (hranice atmosféry Země, 1370 W/m^2) a spektra, které by se obdrželo na hranici atmosféry za předpokladu, že by Slunce bylo černým tělesem o povrchové teplotě 5780 K (1370 W/m^2).

9.2.3 Základní typy fotovoltaických článků

Monokrystalické články

Jejich výhodou je vysoká účinnost a dlouhá životnost. Nevýhodou jsou vysoké výrobní náklady (finanční i energetické) spojené s požadavky na jejich vysokou čistotu. S použitím koncentrátorů lze dosáhnout až 30 % účinnosti. Nejčastěji používané monokrystalické články jsou z křemíku Si. Do této skupiny patří i články z arzenidu galia GaAs, které mají vysokou odolnost vůči vysoce energetickému UV záření a jsou používány zejména pro kosmické účely.

Monokrystalické křemíkové články

V současnosti nejpoužívanější a nejpropracovanější. Účinnost laboratorní dosahuje až 24 %, v praxi je dosahováno 14-16 %. Zvětšení účinnosti se dosahuje povrchovým strukturováním a antireflexní vrstvou na přední straně článku.

Polykrystalické články

Mají oproti monokrystalickým článkům nižší výrobní náklady, avšak nižší účinnost (okolo 12 %), jsou ale více vhodné pro velkosériovou výrobu.

Polykrystalické křemíkové články

Účinnost je menší než u článků z monokrystalického křemíku. V laboratoři je dosahováno účinnosti až 18 %, v praxi 11-15 %. Účinnost, resp. výkonová stabilita klesá s dobou použití více než u článků z monokrystalického křemíku. Relativní pokles výkonové stability bývá uváděn okolo 90 % za 12 let, 80 % za 25 let.

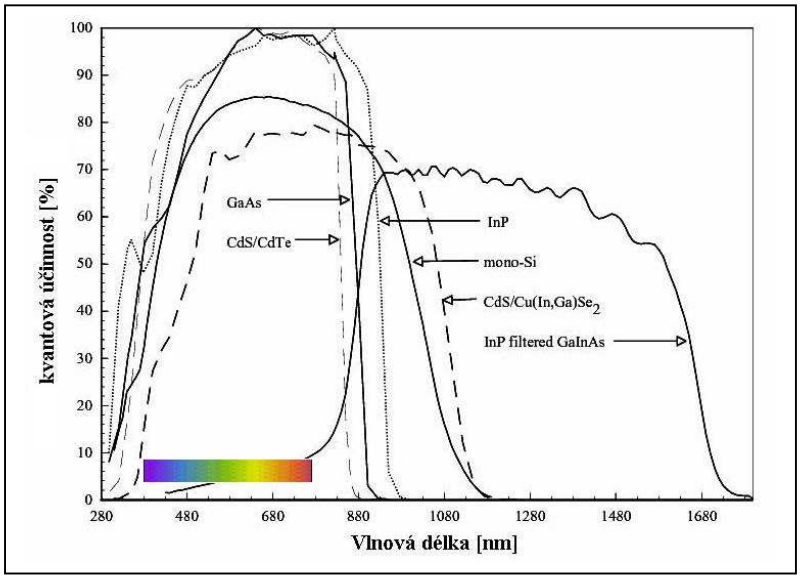
Tenkovrstevné amorfní články

Tvoří jeden z perspektivních trendů rozvoje v této oblasti. Mají řadu předností: vysoká absorpce světla, velké napětí naprázdno, malá spotřeba materiálů a energie. Nelze ale dosáhnout účinnosti srovnatelné s monokrystalickými články - běžně dosahované účinnosti nepřekračují 10 % (maxima okolo 13 %). Velkou nevýhodou je podobně jako u polykrystalických vysoká degradace článků s

časem. Jsou to polovodiče typu chalkogenidů (sloučeniny síry, selenu či teluru) a kadmia (problém s jeho toxicitou), anebo kombinace mědi a india, galia. Hlavními zástupci jsou články z CdTe, CuInSe2 a zejména pak z články amorfního křemíku a-Si:H.

Články z amorfního křemíku

Rozšířené v oblasti malých výkonů (kapesní kalkulátory atd.). Účinnost laboratorní až 13 %, v praxi asi 2 - 7 %. Dlouhodobá výkonová stabilita je podstatně menší než u ostatních druhů článků.



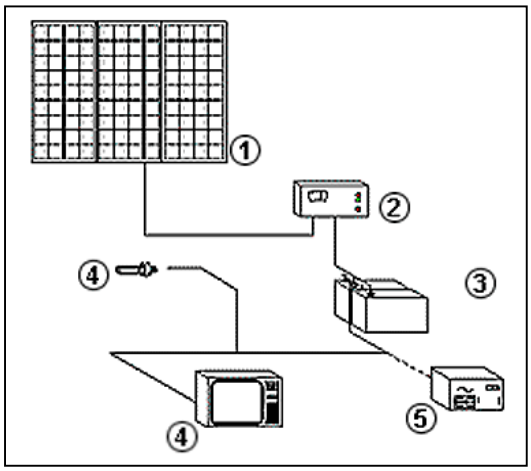
Graf MVG4 Průběh kvantové účinnosti v závislosti na vlnové délce světla pro různé typy FV článků

Vícevrstevné články

Lze si je představit jako více článků různých typů poskládaných na sebe. Dosahují až 30 % elektrické účinnosti, výrobní postup je však velmi složitý a nákladný. Využívají vlastnosti, že různé typy článků jsou citlivé na světlo v různých intervalech vlnových délek. Lze tudíž jejich vrstevnatou aplikací lépe využít spektrum slunečního záření především o vyšších vlnových délkách - viz graf č. MVG4 průběhu kvantové účinnosti v závislosti na typu FV článku. Kvantová účinnost udává v procentech, kolik energie světla dané vlnové délky, resp. kolik fotonů, z dopadajícího záření, je využito pro vybuzení elektronů.

9.2.4 Typy nasazení FV systémů

Základní typy nasazení FV systémů se rozlišují podle toho, zdali jsou či nejsou napojeny na veřejnou distribuční síť.



Autonomní systémy

Systémy bez napojení na veřejnou síť tzv. autonomní nebo ostrovní systémy (angl. grid-off) lze v určitých případech (pohon čerpadel na čerpání vody pro zavlažování ap.) provozovat s přímým napájením spotřebiče. Jinak tyto systémy zpravidla vyžadují akumulaci elektrické energie, nejčastěji elektrochemické akumulátory. Jsou však v provozu i sestavy (ostrovy v Egejském moři), kde je produkovaná elektřina používána pro pohon vodních reverzibilních čerpadel a způsob akumulace je shodný s provozem přečerpávací elektrárny.

Obr. MVOb2 Příklad autonomního FV systému (zdroj: SOLARTEC s.r.o.)
1-pole FV panelů, 2-regulátor dobíjení, 3-akumulátory, 4-elektrospotřebiče 12V=,
5-měnič 12 V= / 230 V~(volitelný doplněk pro možnost připojení klasických spotřebičů)

Systémy napojené na síť

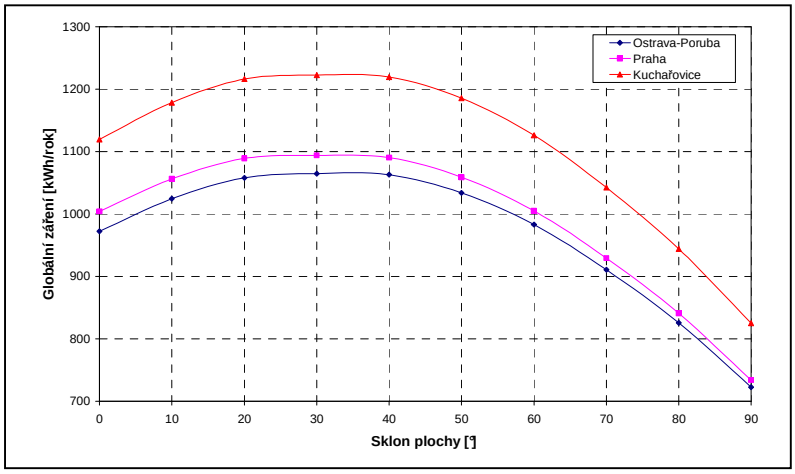
Systémy napojené na síť (angl. grid-on) vyžadují měnič pro přeměnu stejnosměrného proudu na střídavý. Více o principech měničů lze nalézt v produktu „Studie instalace stacionárního vysokoteplotního palivového článku“ vydaného ČEA ČR v roce 2005.

9.2.5 Umístění, orientace FV panelů

Pro umístění fotovoltaických panelů jsou k dispozici podobné možnosti jako pro umístění panelů fototermických. Lze je umístit na nosnou konstrukci jak přímo na zemi, tak i na plochou střechu budovy, bez nosné konstrukce na vhodně orientovanou šikmou střechu, lze je zakomponovat i do fasády budovy. Narozdíl od většiny fototermických panelů jsou fotovoltaické panely schopny provozu i při samostatně působícím difúzním záření.

Optimální orientace panelů závisí na potřebách spotřebiče a u autonomních systémů může být velmi individuální.

Systémy napojené na síť nejsou zatím omezovány a regulovány a mohou dodávat energii do sítě kdykoliv jsou elektřinu o předepsané kvalitě schopny produkovat, tzn. že se zde nevyskytují nevyužitelné přebytky jako u zařízení fototermických. Z toho plyne, že i optimální orientace panelů bude podléhat snaze o maximální roční zisk bez odhledu na rozložení produkce během roku. Graf č. MVG5 ukazuje pro některé lokality orientační průběh množství globálního slunečního záření dopadajícího za rok na různě skloněné plochy orientované k jihu (0°-horizontální plocha). Z průběhů vyplývá, že díky plochému průběhu v oblasti maxima jsou téměř shodné hodnoty pro sklony cca od 20° do 40°. Sklon se ale často podřizuje sklonu střech, takže je možno se setkat se systémy s většími sklony.



Graf MVG5 Množství globálního slunečního záření dopadajícího za rok na 1 m^2 různě skloněné plochy orientované k jihu

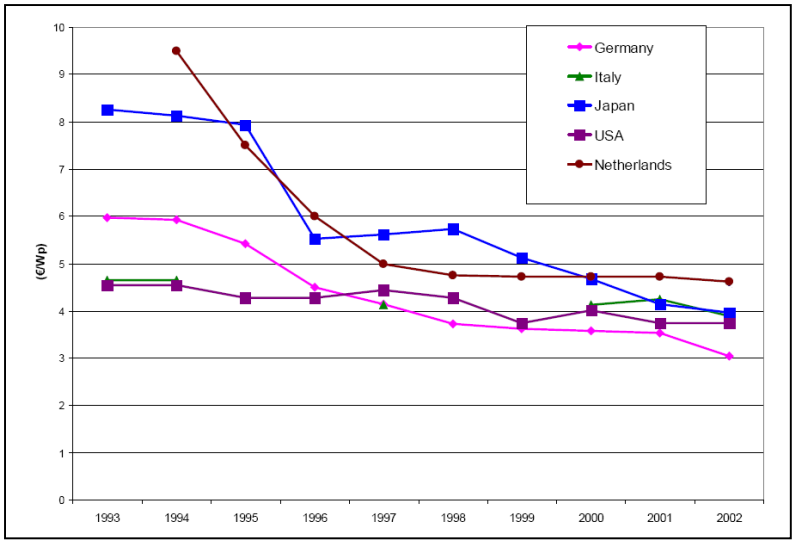
Z hlediska orientace vůči jihu jsou pak podobně jako u fototermálních systémů akceptovatelné orientace ±15°, bez zásadní ztráty na výši produkce.

FV systémy umísťované na svislou fasádu budov nahrazují nižší produkci vyšší realizovatelnou plochou, v případě aplikace v rámci novostavby i úsporou vstupních investic.

Panely by měly být umísťovány tak, aby bylo zajištěno jejich volné chlazení, neboť s jejich rostoucí teplotou, která může v letních měsících dosahovat i k hranici 80°C, klesá provozní účinnost.

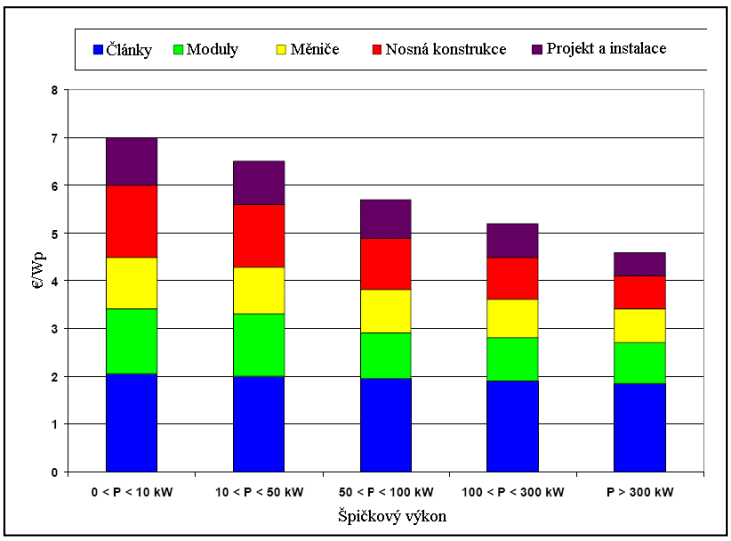
9.2.6 Ekonomika

Cena fotovoltaických panelů s rostoucím počtem aplikací a rozvojem nových technologií celosvětově neustále klesá, přibližně tak, že se zdvojnásobením objemu výroby klesne o cca 20%.



U tuzemských výrobců lze říci, že se absolutní ceny samotných monokrystalických FV panelů (Solartec s.r.o.) drží již dlouhodobě na stejné výši (cca 140–150 Kč/Wp bez DPH), nicméně s uvažováním inflace a růstem reálných platů lze konstatovat, že jejich cena reálně klesá.
U polykrystalických článků (Kyocera) se cena pohybuje okolo 110 -135 Kč/W_p.

Graf MVG6 Trend vývoje cen FV modulů ve vybraných zemích v €/W_p (Zdroj: International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme 2003)



Cena celkového systému se pak skládá dále z nákladů na nosnou konstrukci, měniče, projektu a instalace. Zatímco o měničů jsou náklady přímo závislé na instalovaném výkonu systému, u nosné konstrukce mohou být náklady velmi rozdílné. Snižování nákladů na nosné konstrukce vedlo některé investory i k použití dřevěných konstrukcí při umístění systému přímo na zem.
Snížení měrných cen lze dosáhnout i zvyšováním instalovaného výkonu elektráren viz graf č. MVG7

Graf MVG7 Skladba měrných investičních nákladů v €/W_p pro FV systém různé velikosti (Zdroj: International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme 2003)

9.2.7 Výkupní ceny

Výroba elektřiny solárními články je dnes předmětem státní podpory. Formy podpory jsou stanoveny cenovým rozhodnutím ERÚ č. 10/2005, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů. Jedná se o podporu formou výkupních cen a formou zelených bonusů. V případě podpory ve formě výkupních cen má provozovatel regionální distribuční soustavy nebo provozovatel přenosové soustavy povinnost od výrobce elektřiny vykoupit veškerý objem vyrobené elektřiny z daného zdroje. Při podpoře formou zelených bonusů si musí výrobce najít sám svého odběratele elektrické energie a za každou vyrobenou kWh je mu navíc (k výkupní, tržní ceně, kterou si domluví s odběratelem) vyplácen zelený bonus od provozovatele regionální distribuční soustavy nebo provozovatele přenosové soustavy. Podmínkou je získání licence na výrobu elektřiny.

Pro FV elektrárny uvedené do provozu po 1. lednu 2006 včetně jsou výkupní ceny elektřiny dodané do sítě 13,20 Kč/kWh, zelené bonusy 12,59 Kč/kWh.

Pro FV elektrárny uvedené do provozu před 1. lednem 2006 jsou výkupní ceny elektřiny dodané do sítě 6,28 Kč/kWh, zelené bonusy 5,67 Kč/kWh.

Formu zeleného bonusu lze také využít tak, že pokud bude vlastník FV systému vždy schopen sám spotřebovat okamžitě produkovanou energii, bude mu za každou vyrobenou kWh vyplácen zelený bonus. To bude pro něj výhodné tehdy, pokud nakupuje elektřinu od distributora za cenu vyšší než 0,61 Kč/kWh (rozdíl mezi výkupní cenou a zeleným bonusem).

Výše podpor vychází z kalkulace dle vyhl. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, pro tzv. indikativní hodnoty technických a ekonomických parametrů, které pro fotovoltaiku nabývají následujících hodnot.

1. Předpokládaná doba životnosti nové výrobny 15 let.

2. Předpokládá se konstrukce a umístění fotovoltaických článků tak, aby bylo dosaženo roční svorkové výroby elektřiny alespoň 150 kWh na metr čtvereční aktivní plochy solárního panelu.

3. Celkové měrné investiční náklady se předpokládají menší než 135 tis. Kč/kW_p, roční využití instalovaného špičkového výkonu vyšší než 980 kWh/kW_p (tzn. disponibilita 11,1 %).

Výkupní ceny elektřiny mohou pro nové zdroje meziročně poklesnout (§ 6 odst. 4 zákona č. 180/2005 Sb.) maximálně o 5 %. Při poklesu výkupních cen musí být pro jednotlivé kategorie obnovitelných zdrojů zachována po dobu 15 let výše výnosů za jednotku elektřiny z obnovitelných zdrojů. Z toho důvodu lze říci, že případný pokles výkupních cen je možný pouze u těch kategorií obnovitelných zdrojů, u kterých hrají významnou roli provozní náklady (např. palivové náklady u biomasy).

Z výše uvedeného vyplývá, že pro investora bude ve většině případů výhodnější pořídit si licenci na výrobu elektřiny a výhodně provozovat fotovoltaický systém napojený na síť, než provozovat autonomní systém.

9.2.8 Příklad instalace

Vysoká škola - Fotovoltaické panely

Fotovoltaický systém provozovaný na Vysoké škole báňské – Technické univerzitě Ostrava je situován na střeše budovy Nové knihovny viz obr. MVOb3. Skládá se ze 192 ks fotovoltaických panelů sestavených z článků z monokrystalického křemíku. Celková brutto plocha je 167,3 m^2, plocha apertury (transparentní plocha) 162,1 m^2. Systém je sestaven z panelů různých výkonových tříd, a to 76 ks panelů Solartec SCO72-102, 86 ks Solartec SCO72-106 a 30 ks panelů Solartec SCO72-110. Poslední číslo názvu udává výkonovou třídu, tzn. elektrický výkon stejnosměrného proudu panelu ve [W], dosažený při jmenovitých podmínkách (AM1.5/25°C). Sklon panelů je 45°, orientace 17° od jihu západním směrem.

Jmenovitý instalovaný výkon je 20 kW_p. Systém je rozdělen na 2 bloky. Tzv. rutinní blok s instalovaným výkonem cca 19 kW_p tvoří 8 samostatných polí dodávajících elektrickou energii generovanou ze slunečního záření do NN sítě univerzity přes měniče SunnyBoy. Zbývající instalovaný výkon cca 1 kW_p tvoří tzv. experimentální blok. Ten je rozdělen na 10 samostatných panelů s měniči OK4, které také dodávají elektřinu do sítě, ale je možno je samostatně odpojovat.

Obr. MVOb3 Fotovolaické panely
na Vysoké škole báňské - Technické univerzitě Ostrava

Zaznamenávané a vypočítávané hodnoty jsou uvedeny ve formě informačních panelů záznamového systému a jsou znázorněny na obr. MVOb4, a to jak pro sekce rutinního bloku INV1-INV8, tak i pro sekce experimentálního bloku INV9-INV18.

Dále je na obrázku uveden přehled celkových sumárních a celkových okamžitých měřených hodnot systému.

Aktuální stav

Aktuální hodnoty s datem 2006:06:09. Poslední čas měření: 14:42.

Sunny Boy	INV1	INV2	INV3	INV4	INV5	INV6	INV7	INV8
UPV [V]	305	302	319	325	258	183	161	157
PAC [W]	1191	1158	1294	1274	682	751	388	355
IAC [mA]	5058	4918	5494	5417	2898	3195	1665	1519
Provoz [hod]	13844	13760	14075	14079	14005	14049	13973	13969
Energie [kWh]	10472	10311	11536	11488	6016	6659	3671	3598

OK4	INV9	INV10	INV11	INV12	INV13	INV14	INV15	INV16	INV17	INV18
UPV [V]	40	40	40	40	40	40	0	40	40	40
PAC [W]	47	47	42	44	46	44	0	44	43	42
IAC [mA]	198	198	178	183	192	183	0	183	182	175
Teplota [°C]	31	32	32	31	30	30	0	31	31	31
Energie [Wh]	244027	349346	235949	336854	210947	336934	221533	260217	335835	323189

Aktuální parametry	Hodnota
Okamžitý výkon [kW]	7.492
Dodaná energie/den [kWh]	63
Celková dodaná energie [MWh]	66.606
Teplota vzduchu [°C]	21
Rychlost větru [m/s]	5
Směr větru [°]	208
Teplota panelu E4 [°C]	31
Teplota panelu E8 [°C]	32
Teplota panelu E9 [°C]	31
Intenzita záření 45° [W/m²]	371
Intenzita záření 0° [W/m²]	338

Obr. MVOb4 Informační panely záznamového systému

Historie

Žádost o dotaci byla podána na Státní fond životního prostředí (SFŽP) v 4/2000. Rozhodnutí ministra o přidělení dotace bylo vydáno v 11/2000. Stavební povolení pak v 7/2001. Práce byly zahájeny v 9/2002 a ukončeny 4.12.2002. Systém dodala firma SOLARTEC, s.r.o., Rožnov pod Radhoštěm. Cena projektu: 291.900 Kč vč. 5% DPH, cena dodávky: 8 210.790 Kč vč. 5% DPH, z toho bylo v rámci dotace přiděleno ze SFŽP: 5 747.000 Kč tj. 70%.

Hodnocení provozu

Provoz systému je z dlouhodobého pohledu spolehlivý. V průběhu činnosti nedošlo k žádným významnějším poruchám, které by zásadně ovlivnily výši produkce.

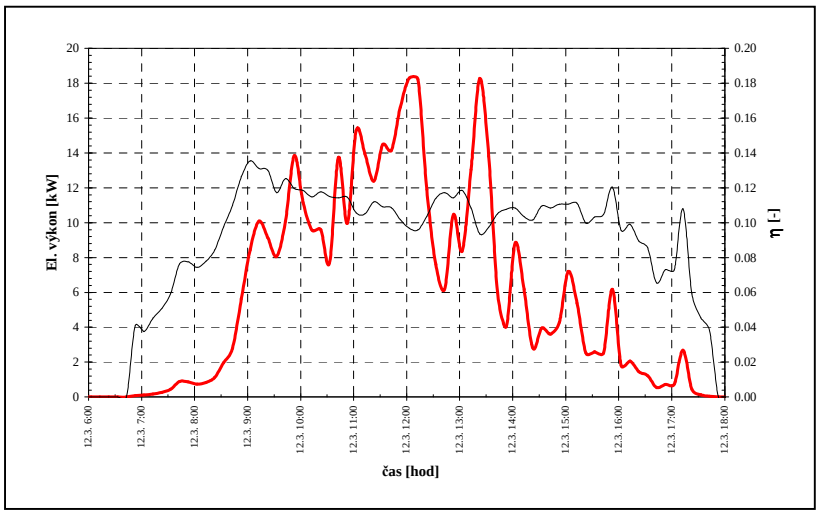
V tabulce MVT2 jsou zpracovány a uvedeny dosažené roční zisky dodané do NN sítě univerzity, průměrný celoroční výkon P_{cr} a disponibilita d (součinitel ročního využití instalovaného výkonu), dále pak maximální dosažený výkon P_{max} a maximální denní produkce $E_{den\text{-}max}$ vč. data, kdy bylo maximálních hodnot dosaženo.

Tab. MVT2 Přehled ročních produkcí elektřiny

	Výroba	P_{cr}	d	P_{max}	den_{Pmax}	$E_{den\text{-}max}$	$den_{Eden\text{-}max}$
rok	[kWh]	[W]	[%]	[W]		[kWh]	
2003	20506	2341	11,7%	18314	2.9.03	119	16.4.03
2004	18567	2120	10,6%	17233	6.3.04	120	14.4.04
2005	19270	2200	11,0%	18299	12.3.05	117	20.5.05

Průběh dne výskytu maximálního výkonu (silnější čára - červená) a průběh okamžité účinnosti fotovoltaického systému v roce 2005 (max. P=18 276 W při 1110 W/m²) je znázorněn v grafu MVG8. Z průběhu je patrná vysoká nestálost výkonu, která je charakteristická pro generátory využívající sluneční energii. V časovém intervalu mezi 12:00 – 14:00 hod bylo dosaženo několika výrazných extrémů – 2 špiček výkonu cca 18 kW a 2 minim dosahující úrovně 6 kW a

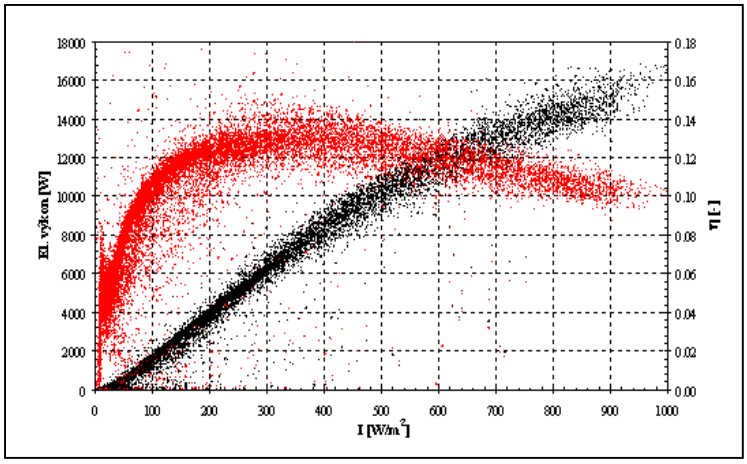
4 kW. Tyto vlastnosti (kromě ekonomických) bohužel odsouvají masivní nasazení fotovoltaických elektráren do doby, než bude vynalezen způsob akumulace elektrické energie technicky, energeticky a ekonomicky vhodný pro vyrovnávání nestálosti produkce elektrické energie z „neregulovatelných“ obnovitelných zdrojů jako je sluneční záření, příp. větrná energie.



Průběh účinnostní a výkonové charakteristiky systému uvedených v závislosti na intenzitě slunečního záření dopadajícího kolmo na plochu panelů je znázorněn v grafu MVG9. Charakteristika je sestavena z jednotlivých provozních bodů, tak jak jich bylo skutečně dosaženo. Rostoucí průběh má charakteristika výkonová, průběh s lokálním maximem představuje charakteristiku účinnostní.

Graf MVG8 Den výskytu max. výkonu FVS v roce 2005

Z grafu je patrné, že při vyšších intenzitách slunečního záření dochází ke snížení účinnosti, což je zapříčiněno zvyšující se teplotou panelu, která v maximu dosahuje až 73°C. Nejvyšších účinností dosahuje systém v oblasti intenzity záření od cca 200 - 600 W/m^2. Rozptyl provozních bodů pro konstantní intenzitu je daný různým poměrem difúzního a přímého slunečního záření a dále pak rozdílnými teplotními poměry.



Systém začíná časově nepřetržitě produkovat elektřinu již při hodnotách intenzity slunečního záření okolo 20 W/m^2. Pod touto hranicí je dodávka nerovnoměrná.

Je všeobecně známo, že komerční nasazení fotovoltaických systémů bez výrazných a dlouhodobých dotačních programů není výhodné.

Graf MVG9 Provozní charakteristiky

Vysoké dotace pro nově budované sluneční elektrárny sice pomohou částečně naplnit požadavky směrnice 01/77/EC a iniciovat podnikatelské aktivity v této oblasti, avšak je nutno pamatovat, že produkce elektrické energie z „neregulovatelných“ obnovitelných zdrojů je únosná pouze do určité míry.

Rozsáhlejší provozování slunečních, ale např. i větrných, elektráren v elektrizační soustavě se stochastickým průběhem dodávaného výkonu se již nevyhne stálému udržování záložních zdrojů energie. Jedná se zde o primární, dispečerské zálohy, v našem případě uhelné zdroje v trvalém i když omezeném provozu. S ohledem na vysokou kolísavost výkonu „neregulovatelných“ elektráren i s uvažováním určité míry nesoučasnosti, jsou potřebné také sekundární rychle startující zálohy,

nejlépe velké vodní a plynové elektrárny. Akumulátory využívající stlačený vzduch, chemické akumulátory a vodíkové systémy dosud nejsou v takovém měřítku reálně použitelné. To vše znamená, že podpora využívání elektráren na bázi „neregulovatelných“ obnovitelných zdrojů musí v budoucnu nutně vyvolat investice v oblasti zdrojů záložních.

10 VYUŽITÍ BIOMASY

10.1 BIOMASA A JEJÍ VLASTNOSTI

Fotosyntéza umožňuje pomocí zeleného barviva – chlorofylu- zachycovat do org.sloučenin dopadající sluneční energii, díky níž může existovat život na Zemi.

Biomasou nazýváme veškerou živou hmotu na Zemi, která může existovat na základě akumulace solární energie zelenými rostlinami. V přesnějším technickém slova smyslu se jedná o uměle nebo přirozeně odumřelou organickou hmotu rostlin, tzv. fytomasu, představovanou sice souborem složitých organických sloučenin, ale v podstatě vytvořenou z vody, kysličníku uhličitého ze vzduchu, malého procenta různých prvků z půdy a za existence fenoménu fotosyntézy slunečního záření o volné vlnové délce 0,38 až 0,79 mikronů, podle rovnice: $6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energie + stopové prvky = $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2$. Vytváří se tak cukry, škrob, lignin, bílkoviny, tuky, latexy, vláknina-celulóza a mnoho dalších látek.

Organická hmota odvozená od základního vzorce uhlovodanů je nositelem energie v množství v přepočtu na 1kg sušiny kolem 18 – 20 MJ/kg. Olejniny jsou výhřevnější. Toto teplo je využitelné v procesu spálení podle rovnice $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O$ + energie + popel.

Rostliny za svého růstu odebírají z ovzduší CO_2, který po spálení (nebo shnití) opět do ovzduší vracejí. Energetické využívání fytomasy je tedy z hlediska CO_2 neutrální. Uvádí se, že rostliny ukládají ve svých tkáních asi 1% dopadající energie, ve skutečnosti využívají asi 15% a v laboratorních podmínkách u vodních řas to bylo až 30%, protože většinu zachycené energie spotřebují k zajištění životních pochodů. Např. na vytvoření 1 kg sušiny musí odpařit 300 – 800 litrů vody! To znamená, že v letní polovině roku v době slunečního svitu využívají prakticky veškerou dopadající energii. Hlavní přínos rostlin není jen ve vytváření biomasy, ale také v akumulaci a přenosu solární energie v krajině pomocí uvolňování vodní páry.

Průměrný výnos sušiny u převážné většiny našich kulturních rostlin se pohybuje kolem 10 t/ha, kukuřice 15 – 18 t/h, u plevelné křídlatky je to kolem 30 t/ha a teoreticky je možno dosahovat i výnosy několikanásobně vyšší. Musí k tomu však být zaměřena genetika, agrotechnika, hnojení, dostatek vláhy a patřičná ochrana.

Podle druhu mohou být pěstovány ve všech výrobních oblastech na půdě vyčleněné z výroby potravin, a pro to mohou být využity běžné zemědělské a lesnické stroje, včetně sklízecích. Při jejich optimálním spalování nevzniká přebytek CO_2 jako u fosilních paliv, neobsahují prakticky síru a těžké kovy se dají filtry zachytit v popílku. Podroštový popel je výborným vápenito-draselno-fosforečným hnojivem. Jako suché dobré palivo s výhřevností podobnou hnědému uhlí mohou být využity všechny odpady hlavní rostlinné výroby. Fytopaliva je možno standardizovat – normalizovat co do tvaru, objemové hmotnosti, výhřevnosti a přizpůsobit je potřebám trhu paliv a výrobců topenišť. Zdroje fytopaliv jsou rozčleněny víceméně rovnoměrně po celém území ČR a mohou být ekonomicky využívány především na venkově v návaznosti na staleté tradice. Vklady energie jsou 6 – 10x nižší než výstupy.

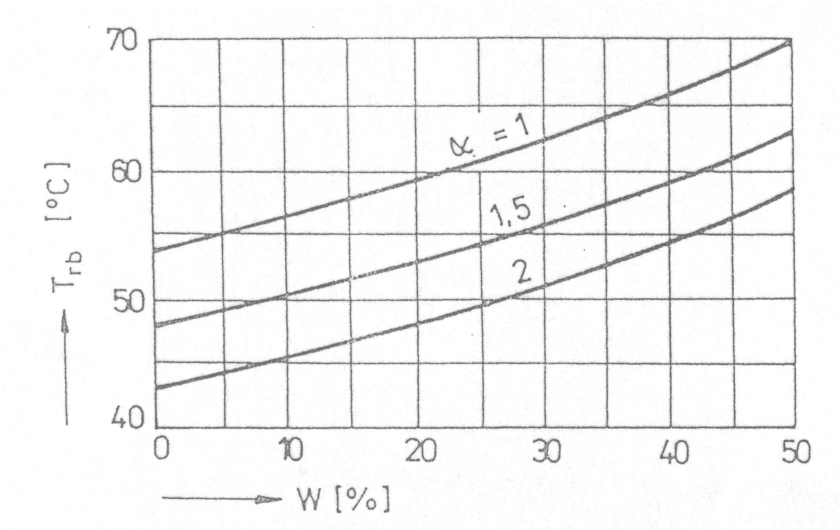
Dřevní fytopaliva jsou tvořena především odpadem lesní těžby a zpracovatelských technologií, ale i dřevem z účelově pěstovaných plantáží, dřevním šrotem, např. z obalů, beden, bednění, palet. Fytopaliva ze stébelnin jsou tvořena zejména vedlejšími výrobky při pěstování

obilovin, olejnin, travin, ale i účelově pěstovanými jednoletými i víceletými bylinami jako je např. topinambur, křídlatka, Miscanthus, konopí apod.

10.1.1 Vlastnosti dřevní hmoty

Kromě výše uvedených vlastností biomasy je nutno zdůraznit důležitost obsahu vody, která snižuje výhřevnost svým vysokým výparným teplem. Rosný bod spalin se zvyšuje s nárůstem vlhkosti – např. při α = 2 (přebytek vzduchu) následovně [21] :

W[%]	α 1,5	α 2,0
20	53°C	48°C
30	56°C	52°C
40	59°C	54°C
50	63°C	58°C

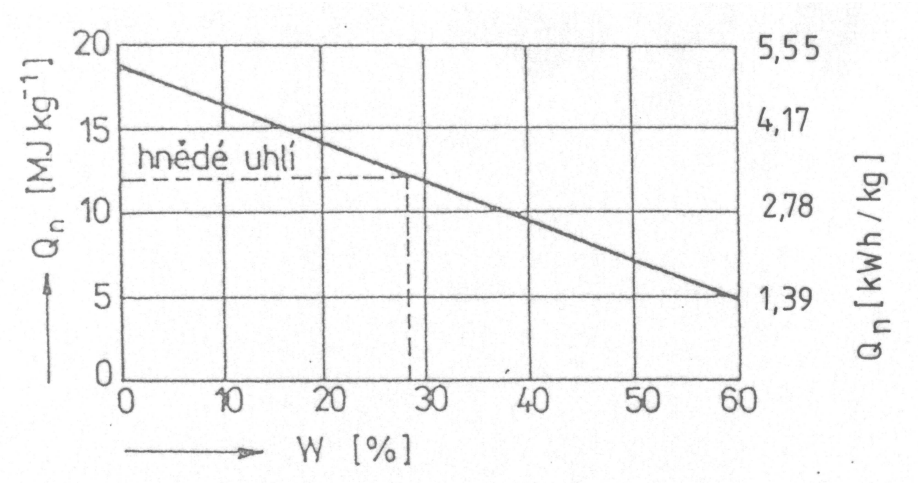


Graf 10 Teplota rosného bodu spalin [21]

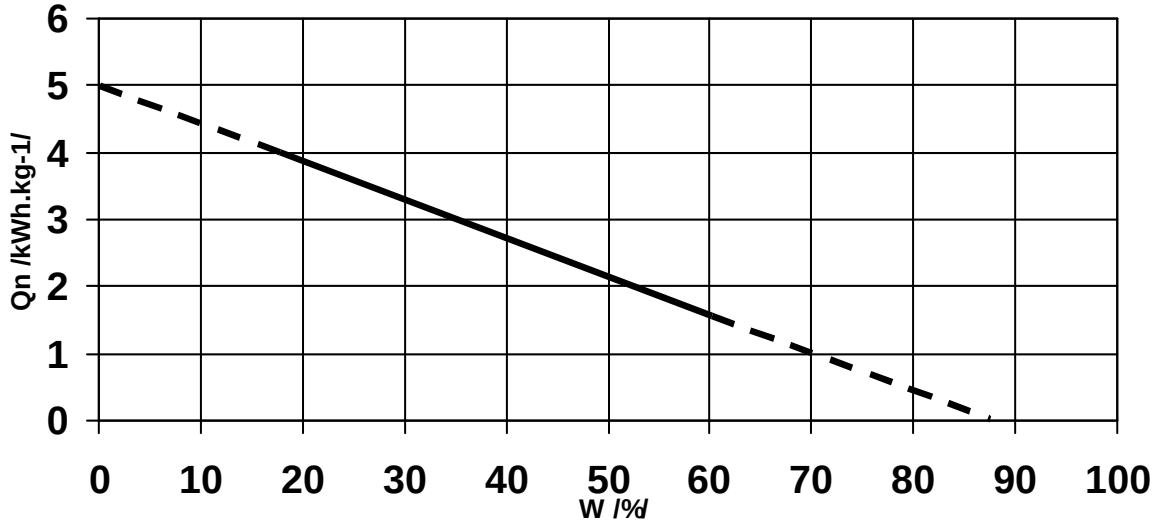
Obsah popela v dřevní hmotě je opět závislý na obsahu vody v biomase a na druhu biomasy, pro měkké dřevo platí :

Výhřevnost biomasy je přímo úměrná vlhkosti paliva, jelikož spalné teplo je prakticky stejné pro veškerou dřevní hmotu.

W [%]	20%	30%	40%	50%	60%
A [%]	0,75	0,71	0,62	0,50	0,41



Graf 11 : Výhřevnost dřevních odpadů [21]



Graf 12: Výhřevnost dřevních odpadů v kWh/kg v závislosti na obsahu vody [21]

Tab. č. 10 Výhřevnost jehličnatého a listnatého dřeva a smrkové kůry [21]

W %	Výhřevnost kWh/kg		
	jehličnaté dřevo	listnaté dřevo	smrková kůra
15	4,329	4,057	4,297
20	4,035	3,779	4,004
25	3,740	3,500	3,712
30	3,446	3,222	3,419
35	3,151	2,943	3,126
40	2,856	2,664	2,834
45	2,562	2,386	2,541
50	2,267	2,107	2,248
55	1,973	1,829	1,956
60	1,678	1,550	1,663

Spotřebu biomasy v závislosti na výkonu kotle a vlhkosti při účinnosti spalování 83% je možno odečíst z grafu č.4.

Tab.č.11 Hustoty a obsah vlhkosti pro různé paliva [17]

Forma paliva - stav	Obsah vlhkosti [%]	Objemová hustota [kg.m^{-3}]
Kulatina – čerstvé dřevo	40 - 50	510 – 720
Štěpka – čerstvé dřevo	40 - 50	280 – 410
Polena – čerstvé dřevo	40 - 50	350 – 530
Piliny – čerstvé dřevo	40 - 50	420 – 640
Kulatina – vysušená na vzduchu	20 - 25	350 – 530
Štěpka - vysušená na vzduchu	20 - 25	190 – 290
Polena - vysušená na vzduchu	20 - 25	240 – 370
Štěpka – vysušená v peci	10 - 15	160 – 250
Polena - vysušená v peci	10 - 15	200 – 310
Piliny – vysušené v peci	10 - 15	240 – 370
Dřevěné brikety	7 - 14	900 – 1100
Dřevěné pelety	7 - 14	500 – 700
Balík slámy	10 – 15	200 – 500
Uhlí (pro porovnání)	6 - 10	700 – 800

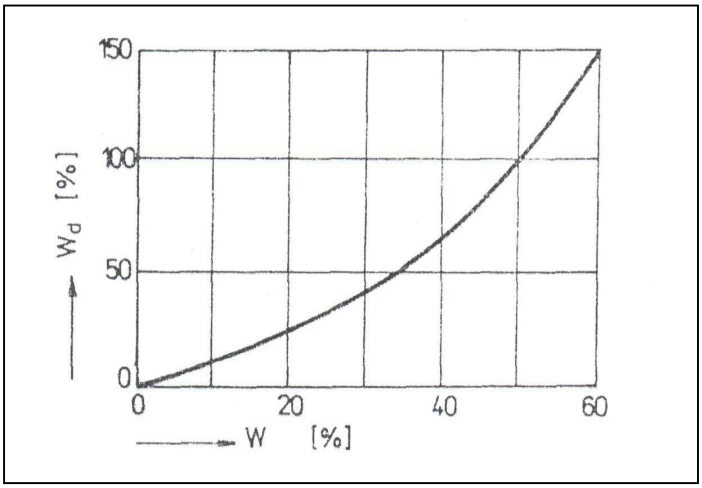
Pro výpočet obsahu vody jsou uplatňovány tyto vztahy:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 = \frac{\Delta W}{m_1} \quad [\%]$$

$$W_D = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 = \frac{\Delta W}{m_2} \quad [\%]$$

kde: m_1…hmotnost vzorku surového dřeva

m_2…hmotnost vzorku po vysušení



V energetické sféře se používá rovnice (2). Výsledná hodnota udává procentuální obsah vody v teoreticky možném rozmezí 0 – 100%. Při použití druhé rovnice (3) je třeba vzít v úvahu, že výsledná hodnota může být i přes 100%. Tento vztah se v energetice nepoužívá, je však ve velké míře uplatněn v dřevařském průmyslu. Závislost mezi těmito vlhkostmi je znázorněna v grafu č.1.

Graf 13. Závislost mezi vlhkostmi [21]

Výhřevnost a spalné teplo

Obsahem aktivních prvků v hořlavině je určeno množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením. Energie získaná při spalování biomasy je rovna uvolněné tepelné energii, která se označuje jako spalné teplo. Přesněji řečeno, spalné teplo surového paliva Q_s^r [kJ.kg^{-1}] je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením 1kg paliva o teplotě 20°C při ochlazení spalin znovu na 20°C, přičemž zkondenzuje vodní pára zpět na vodu.

Obdobně je tomu u výhřevnosti surového paliva Q_i^r [kJ.kg^{-1}], což charakterizuje množství tepla, uvolněného dokonalým spálením jednoho kilogramu paliva při stejné teplotě, ale rozdíl je ve vodní páře, která v tomto případě nezkondenzuje a tedy neodevzdá své výparné teplo – to má za následek, že výsledná hodnota výhřevnosti je v porovnání se spalným teplem menší.

Rozdíl mezi výhřevností a spalným teplem závisí na obsahu vlhkosti a obsahu vodíku v palivu. Nižší hodnota – tj. výhřevnost je v praxi více používaná, pokud se navzájem porovnávají jednotlivá paliva. Údaje autorů o výhřevnosti jednotlivých druhů dřev se různí. Vysvětlujeme si to tím, že výhřevnost dřeva u téže dřeviny závisí na různých faktorech.

Tab.č.12 Vlastnosti základních pevných biopaliv, obsah vody, výhřevnost, popel [16]

PALIVO	VLASTNOSTI						
	Obsah vody (%)		Výhřevnost (MJ/kg)		Obsah popele (%)		Teplota lepení (°C)
	rozsah	∅	rozsah	∅	rozsah	∅	
Dřevní štěpka	20-55	40	5-13	9	0,5-2	0,8	900
Kůra čerstvá	40-65	55	4-10	7	0,5-5	1,5	850
Sláma řepky	13-25	17	13-17	14	3-10	4	750
Rašelina surová	45-55	50	8-11	8	0,5-4	1	900
Domovní odpad	10-50	30	4-15	9	10-50	25	650
Dřevo, polena	20-30	25	12-15	13	0,5-2	0,7	900
Dřevo, obaly, truhlářský odpad	10-15	13	15-17	16	0,5-2	0,7	900

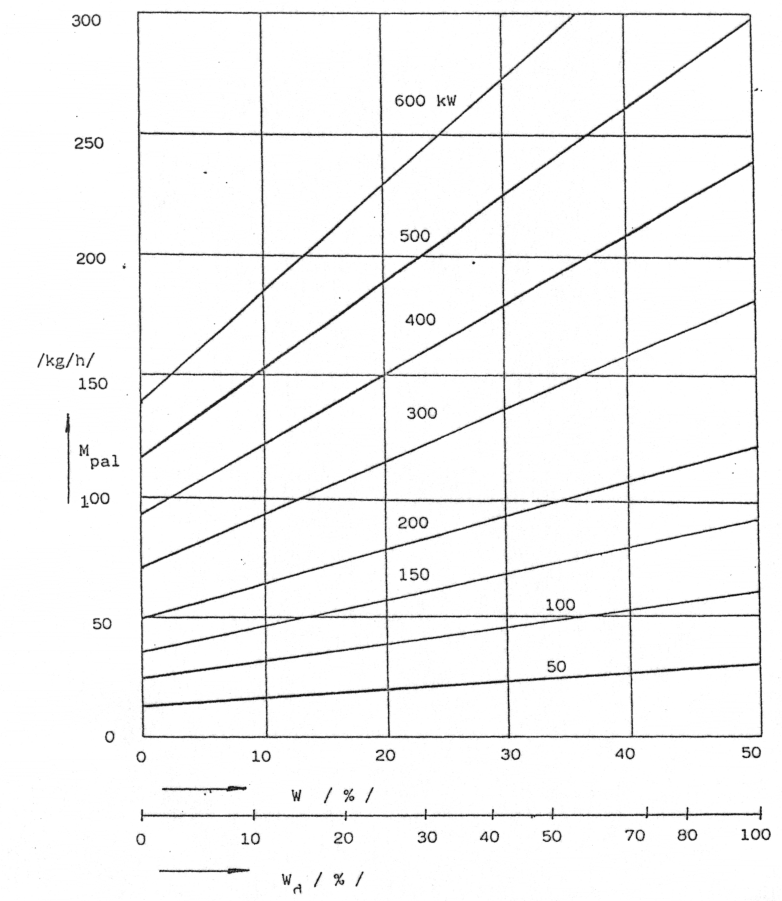
Tab.č.13 objemové hmotnosti paliv ze dřeva [16]

STAV PALIVA	MĚRNÁ OBJEMOVÁ. HMOTNOST (kg/m^3)	HMOTNOST KUSU (kg/ks)	ZPŮSOB MANIPULACE
Hobliny	40 - 60	0,01	ručně i mechanicky
Piliny, prach	120 – 180	0	mechanicky
Štěpka 1/	180 – 260 (300)	0,02 – 0,1	mechanicky
Polínka, délka 30-50 cm	250 – 500	1 – 3	ručně
Polena, délka 100 cm 2/	300 – 550	10 – 20	ručně i mechanicky
Polena, délka 100 cm 3/	420 – 630	15 – 30	ručně i mechanicky
Brikety 4/	400 – 650	1 – 2	ručně i mechanicky
Pelety, granule 4/	450 – 650	0,02	mechanicky

Poznámka: 1/ podle obsahu vody, 2/ měkká dřeva, 3/ tvrdá dřeva, 4/ sypná hmotnost

Tab.č.14 měrná hmotnost běžných druhů dřeva při vlhkosti cca 25% [15]

Druh dřeva	kg.m^{-3}	Druh dřeva	kg.m^{-3}	Druh dřeva	kg.m^{-3}
smrk	430	habr	750	lípa	520
jedle	410	jilm	640	topol	410
borovice	510	jasan	670	vrba	520
modřín	550	javor	600	osika	450
dub	680	olše	490	líska	560
buk	680	bříza	640	akát	600



Graf 14 hodinová spotřeba paliv v závislosti na obsahu vody, výkonu kotle (při účinnosti 83%) [21]

Dále jsou blíže specifikovány druhy biomasy, které připadají v úvahu pro použití.

10.2 PELETY

O tom, že pelety patří mezi perspektivní palivo svědčí zejména skutečnost, že pelety, ač nejsou v současné době nijak dotovány, lze zařadit ve srovnání s ostatními používanými palivy z hlediska vlastností k nejlevnějším. Ostatní paliva a energie (mimo biomasy) jsou nyní ještě částečně dotovány a lze předpokládat, že po odstranění těchto dotací se pelety stanou jedním z nejžádanějších paliv.

Nejčastějším materiálem na výrobu pelet jsou dřevěné piliny, které se za vysokého tlaku lisují na protlačovaných matricových lisech. Vlivem tlaku se piliny zahřejí, přičemž se uvolňuje lignin, který tvoří spolu s přídavným organickým pojivem (např. do 2% melasy, kukuřičné mouky) pojivo udržující peletu po vychladnutí v požadovaném tvaru a zároveň zabraňuje jejímu rozdrolení při manipulaci. Lignin dále na povrchu tvoří tvrdý hustý průsvitný povlak, který zabraňuje vnikání vlhkosti do pelet při jejich skladování.

Zatím méně rozšířené jsou pelety vyráběné výhradně ze stébelnin (problematický je větší obsah chloru, který se do rostlin dostává z hnojiv), nebo směsné pelety ze stébelnin s přídavkem uhelného nebo vápenného prachu pro zvýšení jejich výhřevnosti a omezení nežádoucích vlastností popela.

Požadované fyzikální a technické parametry nejčastěji vyráběných a v praxi využívaných pelet jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka č.15 Fyzikální a technické parametry nejčastěji vyráběných pelet [19]

Průměr	Délka	Objemová sypná hmotnost	Výhřevnost (kWh/kg)	Vlhkost	Obsah popela/váha	Obsah odrolu (prach)	Teplota tání popela
(mm)	(mm)	(kg/m^3)	MJ/kg	(%)	(%)	(%)	(°C)
6 - 12	max. 35	600 - 650	4,7 – 5,1 16,9 – 18,5	max. 12	0,5	3	min.1100

Pozn. : Měrná objemová hmotnost dřevních pelet je 1 000 až 1 400 kg/m^3.

Tabulka č.16 Organické složení dřevních pelet [19]

Organické složení pelet:	
Celulóza	40 – 55%
Lignin	20 – 35%
Glycidy	18 – 25%
Popel	0,3 – 0,8%

Výrobci a dodavatelé pelet v ČR zpravidla uvádějí u svých výrobků mimo jiné tyto základní informace:

sypná hmotnost - 0,620kg/dm^3
systém dodávek - cisterna (jen po území ČR)
obří pytle Big Bag - (800kg)
PE pytle - (15-25kg)

Ceník pelet(2003)
volně ložené - 2 500,-Kč/t
PE pytle 25kg - 3 200,-Kč/t
Big Bag - 2 950,-Kč/t

V ceně není 5% DPH. V letních měsících sleva 10%.
Při kamionovém odběru sleva 5% (24t).
Peletami o průměru 20mm je možné topit ve všech kotlích na pevná paliva.
Pelety jsou vhodné pro lokální i centrální vytápění. Nároky na skladování
– nevadí vzdušná vlhkost, nesmí přijít do kontaktu s vodou.

Skladování pelet

Skladování pelet vyžaduje o něco menší prostor na skladování, než jiná tuhá paliva na bázi biomasy (dřevní brikety, kusové dříví, štěpky apod.). Je to dáno jejich vhodným tvarem a sypnou hmotností a nemají rády, tak jako všechna ostatní paliva, vodu a příliš vlhké prostředí.

Větší zásobu paliva (na půl roku až rok) lze uskladnit ve skladu pelet (silu), který může být konstrukčně řešen jako dřevěná ohrada, podzemní nebo nadzemní nádrž, vybetonovaná jímka nebo může být zařízen v přilehlé místnosti u kotelny. Doplňování paliva (pelet) do skladu pelet se provádí například vysypáním z transportních pytlů, z korby nákladního auta nebo nafoukáním z cisteren hadicí pomocí stlačeného vzduchu (hadice bývá zpravidla délky do 25 metrů, a proto by měl být sklad pelet od příjezdové komunikace k domu vzdálen maximálně do 25 metrů).

Zpravidla se vyplácí pelety zavážet jednou za rok, nejlépe v době letních slev, ale někdy se naopak vyplatí pelety zavážet častěji do menšího skladu, než budovat velký a drahý sklad pelet.

V České Republice je v současné době již asi 15 firem, které vlastní nebo si pronajímají speciální strojní vybavení potřebné k výrobě pelet a jejich počet pomalu roste. V roce 2002 bylo v ČR vyrobeno cca 30 000 tun pelet. Nejvíce pelet se vyrábí pravděpodobně ve Švédsku - v roce 2002 to bylo asi 800 000 tun za rok. V sousedním Rakousku plánovali vyrobit v roce 2005 až 350.000 tun pelet za rok.

Pelety ze skladu ke kotli nejčastěji dopravujeme šnekovým dopravníkem, vakuovým sacím systémem, nebo kombinací obou výše uvedených možností. Při menším potřebném množství pelet můžeme pelety vysypávat ručně z pytlů do zásobníku, nebo mezizásobníku pelet u kotle. Stojí nás to méně peněz (ušetříme za dopravník), ale není to tak pohodlné.

Šnekový dopravník se nejčastěji využívá pro dopravu pelet ke kotli, když sklad pelet sousedí přímo s kotelnou.

Vakuový sací systém umožňuje překonat velké rozdíly mezi skladem pelet a kotelnou (až do vzdálenosti 20m a výšky do 6 m) a umožňuje odsáváním dokonale vyprázdnit sklad paliva. V případě větší vzdálenosti mezi skladem pelet a kotlem se pelety nejčastěji ke skladu dopravují šnekovým dopravníkem nejprve k vakuovému sacímu systému, a pak s jeho pomocí jsou pelety přiváděny (nasávány) do zásobníku nebo mezizásobníku pelet ke kotli.

Pelety hoří ve spalovacím prostoru hořáku zpravidla cca 10 vteřin u nejmenších topenišť, u větších topenišť i déle, za vydatné pomoci spalovacího vzduchu, který je přiváděn pomocí ventilátoru, jehož otáčky mohou být v souvislosti s požadovaným výkonem kotle, případně s použitým typem paliva regulovány v širokém rozsahu. Spalovací vzduch je přiváděn sestavou štěrbinových trysek tak, aby došlo k řízenému dokonalému spalování dodaného paliva. Nově dodávané pelety přitom neustále vytlačují popel z již vyhořelých pelet do popelníku. Rychlost přísunu pelet musí být regulována v závislosti na tepelném odporu a zápalné teplotě pelet a je řízena elektronicky řídící jednotkou spolu s dalšími zařízeními peletového kotle.

10.3 ŠTĚPKA

Pro výrobu štěpky připadají v úvahu následující druhy odpadní biomasy, která je ekonomicky výhodnější než biomasa cíleně produkovaná v kultuře.

- údržba krajiny (klest z ořezu stromořadí podél komunikací, likvidace křovin a lesních náletů, odpady ze sadů a soukromých zahrad – není již možné pálit)
- průmyslová výroba (odpad z dřevařských provozů, dopravní palety, dřevěné obaly strojních zařízení, stavební odpad)
- lesní hospodářství (dřevní hmota z lesních probírek, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, odřezky, klest a zbytky dřevní hmoty při lesní těžbě)

10.3.1 Vlastnosti štěpky

Dezintegrované dříví z klestu, prořezávkového materiálu, odřezků se nazývají štěpka. Max. rozměr energetické štěpky je 50 x 30 mm, tl. 5 – 15 mm. Výhodnější je pro menší zařízení používat štěpku do max. rozměru 20 - 25 mm, se kterou se dosahuje vyšší provozní spolehlivost.

Při provozování je dobré znát základní údaje o biomase v různé formě, jak uvádějí následující tabulky:

Tab. č. 17 Měrné hmotnosti dřeva [20]

Surovina	Jednotka	Buk	Dub	Listnaté dřevo	Borovice	Smrk	Jehličnaté dřevo
Dřevo o vlhkosti W = 15%	$kg.plm^{-1}$ $kg.prm^{-1}$ $kg.prms^{-1}$	670 469 275	685 480 281	678 475 278	517 362 212	455 319 187	486 340 199
Čerstvě vytěžené dřevo W = 50%	$kg.plm^{-1}$ $kg.prm^{-1}$ $kg.prms^{-1}$	1 116 781 458	1 142 799 468	1 130 791 463	862 603 353	758 531 311	810 567 332

Údaje v tabulce které se týkají označení objemů dřeva značí:
1 plm = plnometr – pevný metr 1 m^3 skutečné dřevní hmoty.
1 prm = prostorový metr – 1 m^3 složeného dřeva.
1 prms = prostorový metr 1 m^3 volně uložené nezhutňované štěpky (drti.
Vztah mezi uvedenými jednotkami ukazuje tabulka č. 17

Tab. 18 [15, 20]

Pevné dřevo		Složené dřevo	Štěpkované (drcené) dřevo
plnometr – pevný metr (plm)		prostorový metr (prm)	sypný metr (prms)
plm	1,0	1,43 – 1,54	2,43 – 2,86
prm	0,7	1,0	1,7 – 1,86
prms	0,35 – 0,41	0,59 – 0,62	1,0

Pro spalování je velmi důležitá vlhkost dřeva. V tabulce č. 18 je potřebné množství různě vlhkého dřeva v % na stejný tepelný výkon.

Tab. 19: Množství dřeva ke stejnému tepelnému výkonu při různé vlhkosti [15, 20]

Obsah vody ve dřevě %	Potřeba paliva na jednotku výkonu	
	A (%)	B(%)
0	100	-
10	111	-
20	127	100
30	150	118
40	180	143
50	232	181
60	300	235

A = základ, 100% je při obsahu vody = 0%
B = základ, 100% je při obsahu vody = 20% (odpovídá praxi)

Vzrůst obsahu vody ve dřevě z 20 na 40% podmiňuje vyšší spotřebu paliva bezmála o polovinu. Vzrůst na obsah vody 50% - což je běžný případ čerstvé biomasy, podmiňuje potřebu paliva již bezmála dvojnásobnou! Závislost je tudíž progresivní, část dřevní hmoty se spotřebuje na pouhé odpaření vody bez efektu. Na základě tohoto faktu je možno přijmout dvě řešení jejich kombinaci:

- dbát na vysušení paliva před spalováním
- větším výměníkem využít i tepla, obsaženého v odpařené vodě a spaliny přivést až ke kondenzaci.

Vlhkost štěpky lze vylepšit jejím skladováním. Při vhodném skladování můžeme dosáhnout poměrně významný pokles vlhkosti a zvýšení výhřevnosti paliva. Energetická štěpka by měla být skladována pod přístřešky, aby nedocházelo k ovlivňování vlhkosti vlivem dešťových srážek.

Má-li štěpka vyšší obsah vody než 20 – 30%, po určité době (v závislosti na teplotě) začíná degradovat a plesnivět.

Efektivní výhřevnost dřeva závisí především na jeho okamžité vlhkosti a na dřevině. Pryskyřice má vyšší výhřevnost než vlastní dřevo (výhřevnost absolutně suchého dřeva je 17.6 až 18,5 $MJ.kg^{-1}$ – tj. 4,9 – 5,14 $kWh.kg^{-1}$). Výhřevnost kůry, větví a jehličí je proto nepatrně vyšší než odkorněného dřeva. Při pálení dříví se na jeho vysychání spotřebovává větší podíl energie, nežli u jiných paliv. V první fázi spalování se ze dřeva vypařuje voda. Po vysušení začíná dřevo zplynovat, a cca 4/5 suchého materiálu shoří v plynné formě. V konečné fázi spalovacího procesu hoří pevné zbytky (uhlík), jejichž rychlost hoření závisí na přísunu kyslíku. Efektivní výhřevnost dřeva proto výrazně závisí na jeho okamžité vlhkosti, viz následující tabulka.

Tab. 20: Efektivní výhřevnost lesní štěpky v $kJ.m^{-3}$ v závislosti na vlhkosti

Štěpka vyrobená:	Vlhkost			
	0%	20%	40%	60%
z celých stromů				
borovice	7 540	7 310	6 920	6 130
smrk	7 430	7 430	7 020	6 270
bříza	9 040	8 750	8 270	7 300
olše	6 810	6 810	6 430	5 680
z klestu bez jehličí				
borovice	8 250	8 000	7 590	6 720
smrk	9 160	8 880	8 400	7 450
bříza	9 850	9 550	9 040	8 020
z klestu s jehličím				
borovice	8 113	7 872	7 470	6 628
smrk	8 424	8 164	7 731	6 864
z odkorněných odřezků				
jehličnaté dřevo	7 970	7 720	7 300	6 470

Experimenty bylo zjištěno, že optimální vlhkost štěpek pro spalování je 30 až 35%. Jsou-li štěpky příliš suché, má proces hoření explozivní charakter a velká část tepelné energie uniká prostřednictvím horkých kouřových plynů do atmosféry. Naopak, při vlhkosti štěpek 50 až 60% je spalování obtížné a účinnost topeniště klesá. Proces hoření je totiž tak nerovnoměrný, že není technicky možné jej regulací optimalizovat. Závislost spalovacího procesu na vlhkosti již není lineární. Štěpky s touto vlhkostí jsou proto pro energetické využití nevhodné. Je-li vlhkost štěpek 60 až 70%, není již jejich výhřevnost dostatečná ani pro udržení spalovacího procesu a oheň zhasíná.

Přirozená vlhkost dřeva je ve srovnání s ostatními palivy vysoká a vykazuje i největší rozpětí, od cca 20% u dříví proschlého za příznivých podmínek vzduchu (např. dříví podložené tak, aby se nedotýkalo půdního povrchu, uložené na místech s pohybem vzduchu, na osluněných skládkách atd.), až po 60% i více u dříví čerstvě pokáceného. Kůra stromů ihned po pokácení pak dosahuje vlhkosti i přes 65%. Z uvedených faktů je tedy zřejmé, že vlhkost čerstvě pokáceného dříví je příliš vysoká pro okamžité energetické využití, a musí proto být jakoukoliv cestou snížena, aby bylo dosaženo jeho přijatelné výhřevnosti.

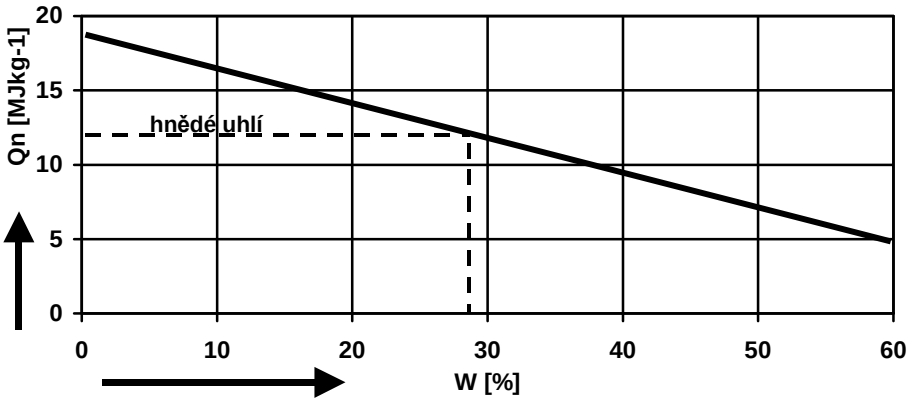
Energetické stanovení vlhkosti paliva (obsahu vody) se vypočítá:

$$W_e = \frac{m1 - m2}{m1} \cdot 100\ (\%)$$

m1 = hmotnost vzorku před vysušením, m2 = hmotnost vzorku po vysušení

U dřevních odpadů je zajímavé, že různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky shodnou výhřevnost. Lze to vysvětlit tím, že chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je cca shodné. Vžitá představa, že tvrdé dřevo má vyšší výhřevnost, než dřevo měkké je mylná, protože se jedná pouze o rozdílnou měrnou hmotnost těchto dřevin.

Pro praktické výpočty je možno použít hodnotu výhřevnosti dřevních odpadů v závislosti na obsahu vody dle grafu č.1. V tomto grafu je pro možnost porovnání vyznačena i výhřevnost běžného, hnědého uhlí.



Graf 15: Výhřevnost dřevních odpadů v závislosti na obsahu vody [21]

Výhřevnost sušiny různých druhů dřevin je možné uvést:

dřevo jehličnaté	Q_n = 18,756 MJ/kg = 5,21 kWh/kg
listnaté	17,604 MJ/kg = 4,89 kWh/kg
smrková kůra	18,54 MJ/kg = 5,18 kWh/kg

Pro běžné výpočty je možno uvažovat s průměrnou výhřevností sušiny dřevní hmoty:

$$Q_n = 18 \text{ MJ/kg} = 5 \text{ kWh/kg}$$

Tab. 21 Spotřeba vybraných druhů biopaliv z hlediska maximální hodinové spotřeby a požadovaná týdenní zásoba paliva [16]

Biomasa	měrná jednotka	smrk/jedle štěpka suchá	smrk/jedle štěpka vlhká	buk/dub štěpka suchá	buk/dub štěpka vlhká	energ. obilí celá rostlina - pelety	směs štěpka	r.r.d.	obilní sláma balíky
vlhkost	%	10	40	10	40	15	15	15	14
Spotřeba paliva pro kotel při teoretické účinnosti 100 %									
o výkonu 20 kW	$kg \cdot h^{-1}$	4,5	7,3	4,3	6,9	4,8	5,2	4,7	4,8
o výkonu 50 kW	$kg \cdot h^{-1}$	11,3	18,3	10,7	17,3	12,1	13,0	11,7	11,9
o výkonu 100 kW	$kg \cdot h^{-1}$	23	37	21	35	24	26	23	24
o výkonu 200 kW	$kg \cdot h^{-2}$	45	73	43	69	48	52	47	48
o výkonu 500 kW	$kg \cdot h^{-2}$	113	183	107	173	121	130	117	119
o výkonu 1 000 kW	$kg \cdot h^{-3}$	226	367	214	345	241	261	234	238
o výkonu 1 500 kW	$kg \cdot h^{-3}$	338	550	320	518	362	391	352	357
o výkonu 2 000 kW	$kg \cdot h^{-3}$	451	733	427	691	482	522	469	476
Týdenní zásoba paliva pro kotel s teoretickou účinností 100 %									počet balíků
o výkonu 20 kW	m^3	4,5	5,1	2,5	3,1	1,6	4,4	3,2	1,6
o výkonu 50 kW	m^3	11,3	12,8	6,2	7,8	4,1	11,0	7,9	4,0
o výkonu 100 kW	m^3	23	26	12	16	8	22	16	8
o výkonu 200 kW	m^3	45	51	25	31	16	44	32	16
o výkonu 500 kW	m^3	113	128	62	78	41	110	79	40
o výkonu 1 000 kW	m^3	226	257	124	157	81	219	158	80
o výkonu 1 500 kW	m^3	338	385	186	235	122	329	236	120
o výkonu 2 000 kW	m^3	451	513	247	314	162	438	315	160
vlastnosti paliv									hmotnost balíku kg
sypná hmotnost	$kg \cdot m^{-3}$	168	240	290	370	500	200	250	500
obsah energie	$kWh \cdot kg^{-1}$	4,43	2,73	4,68	2,89	4,15	3,83	4,27	4,21
obsah energie v m^3	$kWh \cdot m^{-3}$	745	655	1 358	1 071	2 074	767	1 067	2 103
obsah energie v m^3	$GJ \cdot m^{-3}$	2,68	2,36	4,89	3,86	7,47	2,76	3,84	7,57
výhřevnost	$MJ.kg^{-1}$	15,96	9,82	16,86	10,42	14,93	13,80	15,36	15,14
obsah popela	%	1	1	1	1	4	2	1	5

V tab.21 uvádíme spotřebu vybraných druhů biopaliv z hlediska maximální hodinové spotřeby a případné týdenní zásoby paliva. Výpočty jsou provedeny pro 100% účinnost zařízení. Při účinnosti systému topného zdroje např. 80% bude spotřeba paliva a jeho týdenní zásoba o 20% vyšší. Nevýhodou pevných biopaliv je obecně nutnost většího skladovacího prostoru proti fosilním palivům. Přibližné propočty potřebného skladovacího prostoru v m^3 na uskladnění paliva o energetickém obsahu 1 MWh a 1 GJ uvádí tabulka 23. Například u polen musíme počítat ve srovnání s černým uhlím se 4x větším prostorem, při porovnání s hnědým uhlím s asi 2x větším prostorem. Ještě více vynikne potřeba prostoru pro skladování ve srovnání štěpky a černého uhlí. U štěpky je potřeba skladovacího prostoru téměř 8x větší.

Tab. 22 Přibližná potřeba skladovacího prostoru v m^3 na uskladnění paliva o energetickém obsahu 1 MWh a 1 GJ [16]

Palivo	Měrná hmotnost $kg.m^{-3}$	Skladovací prostor $m^3.MWh^{-1}$	Skladovací prostor $m^3.GJ^{-1}$
Palivové dřevo-polena	320-450	0,7	0,19
Palivové dřevo-odřezky	210-300	1,05	0,29
Štěpka	180-410	1,3	0,36
Rašelina	350-400	0,8	0,22
Sláma ze samosběracího vozu	40-60	3	0,83
Sláma balíky	80-150	0,60	0,17
Dřevěné brikety, pelety	600-1100	0,275	0,08
Hnědé uhlí	650-780	0,41	0,11
Černé uhlí	770-880	0,17	0,05

Cena lesní štěpky se pohybuje podle místa spotřeby, to znamená po následujících operacích, sběr odpadů po těžbě, přiblížení, štěpkování, doprava, kolem 1 150 – 1 200 $Kč.t^{-1}$. Ceny uvažujeme se ziskem pro výrobce asi 10%, nepočítáme DPH. Pro individuální vytápění menších provozů, kde lze využít automatizované kotle na štěpku lze vytápění dřevními odpady doporučit, neboť cenově konkurují hnědému uhlí.

Tab. 23 Měrná hmotnost štěpky z běžných druhů dřeva [15]

Druh dřeva	*kg.m-3	Druh dřeva	*$kg.m^{-3}$	Druh dřeva	$kg.m^{-3}$
smrk	172/258	habr	300/450	lípa	208/312
jedle	164/246	jilm	256/384	topol	164/246
borovice	204/306	jasan	268/402	vrba	208/312
modřín	220/330	javor	240/360	osika	180/270
dub	272/408	olše	196/294	líska	224/336
buk	272/408	bříza	256/384	akát	240/360

** Prvé číslo - hmotnost štěpky v sušině, druhé číslo - hmotnost štěpky s obsahem vody 50 %*

10.3.2 Sušení štěpky

Biomasu pro energetické využití musíme skladovat a sušit ze dvou zásadních důvodů:

- nutná zásoba paliva na určité období (4 – 7měsíců) z důvodu sezónních výkyvů těžby
- snižování vlhkosti z důvodu zvýšení výhřevnosti a snížení spotřeby paliva

Skladování úzce souvisí s vysycháním paliva. Při vhodném skladování můžeme dosáhnout poměrně významný pokles vlhkosti a zvýšení výhřevnosti paliva. Energetická štěpka by měla být skladována pod přístřešky, aby nedocházelo k ovlivňování vlhkosti vlivem počasí. Z praxe je známo, že pod 20% klesne vlhkost štěpky pouze pod zakrytými skládkami.

Způsob skladování a rychlost vysychání štěpky má velký význam, protože lesní dendromasa v čerstvém stavu je náchylná k infikaci houbami a plísněmi. Působením tepla a mikroorganismů dochází k částečnému rozkladu organické hmoty, což má za následek její úbytek i mimo odpar vody a následné snížení hodnot výhřevnosti. Někteří autoři uvádějí, že po ročním skladování energetické štěpky na volné skládce se zjistilo snížení výhřevnosti o 20 – 40%, u pilin o 40% a u kůry až o 50%.

Během skladování čerstvé štěpky dochází v prvních dnech k vzestupu teploty na 60 – 70°C. Pro zrychlení procesu sušení se štěpka rozhrnuje a přemísťuje, aby se uvolnil vodními parami nasycený vzduch.

Kromě zvyšování výhřevnosti má rychlé snižování vlhkosti ve štěpce význam i proto, aby se zamezilo šíření dřevokazných hub a jejich napadení skladovacích prostorů.

Náběh rozkladných procesů je zpočátku pozvolnější – ztráty objemu za první měsíc skladování činí od 0,6 do 3%. V dalších měsících se stupňuje činnost mikroorganismů a hub. Proto se ztráty zvyšují na průměrných 5,5% měsíčně za 2. až 5. měsíc skladování. V následujících měsících (6. až 8.) se ztráty stabilizují v rozpětí 2,5 až 3,3% měsíčně. Při délce skladování 7 – 8 měsíců tedy může dojít k celkovému úbytku objemu o cca 20%. Se skladováním štěpky delším než 8 měsíců se neuvažuje, protože dochází k její výrazné mineralizaci. Jde tedy již v podstatě o kompostování a nikoliv skladování (týká se pouze volné štěpky).

U materiálu určeného ke štěpkování a zakrytého nepromokavou fólií se ztráty na objemu v průměru pohybují okolo 0,2%, u hromad nezakrytých okolo 1,0% za každý měsíc skladování.

10.3.3 Brikety

Dřevní brikety jsou vyráběny z pilin, hoblin nebo sešrotovaných stébelnin o průměru 4 – 9 cm a délky až 30 cm. Objemové hmotnost je cca 1,2 g/cm$_3$, sypná hmotnost pak do 600 kg/m$_3$. Hmotnost 1 kusu do 1,5 kg. Výhřevnost je podobná jako u pelet tj. 17 – 18MJ/kg (4,7 – 5,0kWh/kg). Skladování vyžaduje obdobné podmínky jako u pelet. Cenová hladina je mírně nižší než u pelet, tj. cca 2 300,- až 3 000,-Kč/t.

Svým charakterem jsou brikety předurčeny ke spalování v krbech a malých topeništích. Pro vytápění větších objektů nejsou vhodné.

10.3.4 Zdroje štěpky

Biomasa, která byla blíže popsána a specifikována může být získávána různými způsoby a z odlišných stanovišť. Dále jsou pro úplnost uvedeny různé možnosti, i když využity by mohly být pouze některé. Za zmínku stojí, že možnosti, které se v současnosti jeví jako nevýhodné, se mohou změnou cenové politiky nebo místních podmínek hospodaření obce nebo okolních obcí ukázat jako výhodné.

I když se zatím jeví výhodnější spalovat v budovách pelety, je možné že zavedení mikroštěpky může dát příležitost i tomu druhu biomasy. Pro úplnost jsou dále uvedeny možnosti získávání běžné štěpky.

10.3.5 Lesní těžba

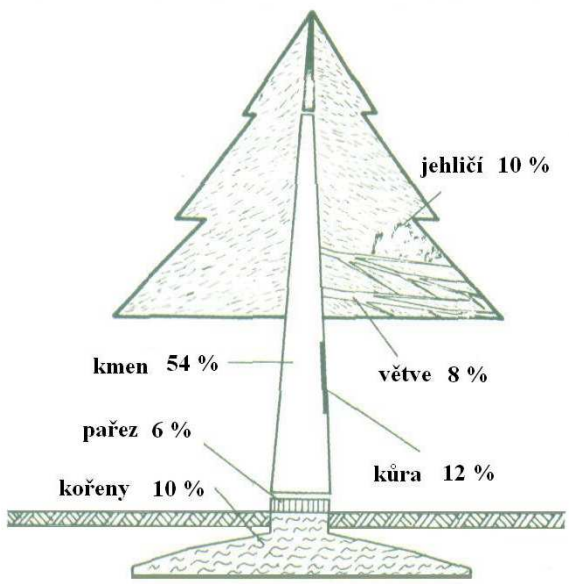
S ohledem na nižší měrné náklady se jedná o výhodný zdroj biomasy. Odpad z lesní těžby zahrnuje následující části dřevní hmoty:

- klest, tj. nestandardní dříví z vrcholové části stromů, a větve do tloušťky 7 cm,
- (vlastní) těžební odpad, tj. klest po odvětvení stromů, s určitým množstvím krátkých, nestejně dlouhých odřezků kmenové části stromů, vznikajících při příčných řezech v průběhu výroby surového dříví,
- celé stromky z prořezávek a prvních probírek, včetně větví a stromové zeleně, odstraněné z lesních porostů z pěstebních důvodů, nedosahující dimenzí užitkových sortimentů.

V žádném případě nelze veškeré vytěžené dříví považovat za odpad, protože jeho část je běžně prodejná jako obchodovatelné sortimenty surového dříví a jen zbývající část (tenký vršek stromu, větve s listím či jehličím, pařez a kořenové dříví) zatím zůstává komerčně nevyužívána a může tedy být označena jako odpad. Kardinální otázkou proto je, jak velký podíl mají tyto části na vyprodukované dendromase.

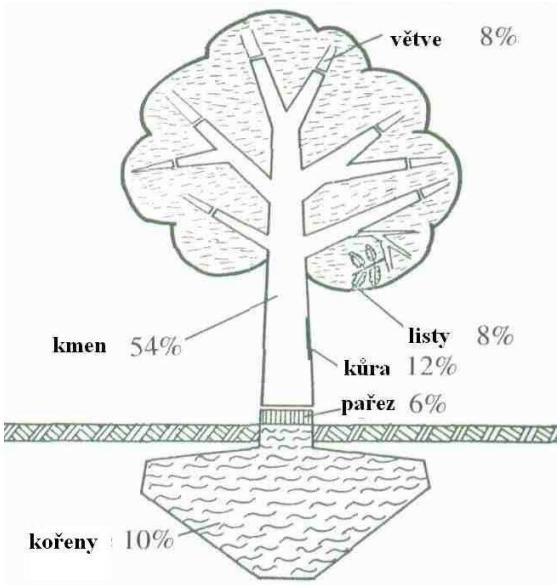
Při příjmu vyrobeného surového dříví podléhá evidenci jen dříví hroubí, tj. dříví kmenové a dříví z větví tlustších než 8 cm včetně kůry. U listnatých stromů to představuje dohromady cca 60% z celkové vyprodukované dendromasy, což znamená, že na každý 1m^3 vytěženého dříví hroubí připadá 0,6 až 0,7 m^3 další, dosud nevyužívané dendromasy. Předmětem využívání však není veškerá dendromasa (např. pařezy a podzemní dendromasa nejsou těženy), ale pouze klest (těžební odpad), kterého připadá na každý evidovaný m^3 vyrobeného dříví 0,15 až 0,25 m^3. Zkušenosti však ukazují, že z tohoto objemu je reálně možné při úklidu pracoviště odstranit jen cca $^1/_2$ až $^2/_3$, protože zbývající objem tvoří tenké letorosty a asimilační orgány, které na pracovním místě stejně zůstávají i po sebepečlivějším povýrobním úklidu. Lze tedy upřesnit, že na každý evidovaný 1 m^3 vytěženého dříví připadne 0,08 až 0,17 m^3 klestu jako těžebního odpadu, který je nutné likvidovat.

Pro převod objemových jednotek na jednotky hmotnostní se u dříví používá od 700 – 800 kg/m^3 (jehličnany) až po 1 000 kg/m^3 u dubu.



Obr.8 Podíl složek biomasy u jehličnatých stromů [18]

Všeobecně je možno konstatovat, že v jehličnatých porostech se podíl kmenového dřeva ve věku pro těžbu pohybuje okolo 62%, podzemní biomasa okolo 23% a biomasa z koruny stromu okolo 15%. Při tradičních způsobech zpracování dřeva v lese se využívá asi 58% z celkové biomasy stromu.



Obr.9 Podíl složek biomasy u listnatých stromů [18]

V listnatých prostorech je podíl kmenového dřeva velmi rozdílný a podle kvality porostu se pohybuje od 52 do 68%. Koruny mají podíl 10 až 19%, podzemní část od 8 do 25% celkové biomasy.

Zákonitě vzniká otázka, jak důkladně lze les vyčistit od odpadního dřeva. Není odpad pro les cenná organická hmota, která má zůstat na místě k pozvolnému rozkladu pro zpětné uvolnění živin?

Při energetickém využívání dříví z lesních porostů, zejména jeho dosud opomíjených zdrojů (klestu, pařezů) – zde může být podíl odnímané vyprodukované dendromasy vyšší, než při zatím běžném lesnickém obhospodařování. To místy skutečně vyvolává obavy, aby takové odnímání živin a organických látek z přírodního koloběhu nebylo na úkor výživy následných porostů (i když to není průkazné, protože až donedávna byl kolem sídel pečlivě vysbírán klest i šišky, a přesto důkazy o poklesu produkčních schopností lesů neexistují). Pokles produktivnosti stanovišť byl sice při totálním odstranění drobného odpadu prokázán, avšak jen u stanovišť chudých.

Dlouhodobé studie naopak prokázaly, že vlivem dálkového přenosu dusíku (způsobeného nejspíš přenosem imisí obsahujících právě dusík) roste jeho obsah v půdě a v lesích, a tak zvyšuje produkci dřeva. Dusík pak kryje potřebu výživy porostů a jeho bilance v lesní půdě by byla vyrovnaná i při úplném odejmutí veškeré dendromasy. Ponechání zbytků po těžbě v lese tuto bilanci jen vylepšuje. (Ztráty živin z půdy podle všeho souvisejí spíš s jednorázovým odstraněním lesního porostu holosečí). Obecně se soudí, že ponechaný odpad z těžby zvyšuje produkční schopnost lesních půd tím, že se z něj při pomalém rozpadu uvolňují živiny – za 3 až 6, úplně za 10 let. Kupodivu však je bilance živin na plochách s odstraněným klestem příznivější! Proč? Jsou dvě vysvětlení – vrstva humusu rychleji mineralizuje, a tím je i rychlejší přísun volných živin, nebo zabuřenění ploch bez klestu brání vyplavování živin, které se při odumírání buřeně ve stínu stromů pak postupně uvolňují.

Je známo, že nejvyšší obsah živin má jehličí a v ostatních složkách dendromasy je 2 až 29krát vyšší, než ve vlastním odkorněném dříví, tzv. hroubí. Pokud tedy bude technologie přípravy a dopravy těžebního odpadu přerušena po těžbě a materiál ponecháme v porostu přírodnímu vyschnutí, provázenému opadem jehličí, zůstane většina živin zachována v přirozeném koloběhu živin uvnitř lesního ekosystému. Riziko odnímání živin snižuje fakt, že periodický opad jehličí za dobu růstu stromů zůstává v koloběhu živin, i že při soustřeďování těžebního odpadu se oláme 20 – 60% tenkých větévek, v nichž je rovněž koncentrován významný podíl živin.

Problém nastává jen na velice chudých stanovištích (písčité půdy, suťové svahy), kde je slabá vrstva humusu. Ponechání odpadu z těžby zde má tedy význam spíše z hlediska ponechání organického materiálu k humifikaci.

Údržba veřejné zeleně

Ořezy a svoz klestu z údržby veřejné zeleně je předmětem činnosti specializovaných firem. Doposud je odvážen na skládku. Nový zákon o odpadech zpřísňuje podmínky ukládání biologicky rozložitelných odpadů na úložiště a každým rokem bude přípustné procento těchto odpadů snižováno. Vzniká vážný problém, jak likvidovat tento odpad. Při energetickém využití jde o ekologické řešení, kdy se snižují emise CO_2 a odpadem je cca 0,7 – 1% popele, který je kvalitním hnojivem.

Z výše uvedeného vyplývá, že pro správce zeleně je výhodnější přivézt zdarma klest na určené místo, než platit poplatky za skládku. Tento vztah existuje v Martinově k plné spokojenosti již pátý rok. V tom případě, je nutné pamatovat na místo pro přechodné uložení klestu, neboť ořezy se převážně provádějí na podzim a před jarem.

Klíčovou otázkou je množství této biomasy, jelikož plocha se zde nedá určit. Rozhodující bude smluvní projednání odběratele s dodavatelem, které určí jak roční množství ořezu, tak také např. 10letou garanci.

Pro tento druh biomasy platí, že je nákladově nejvýhodnější ze všech. Vlastnosti a podmínky svozu jsou podobné jako u lesní.

10.4 TECHNICKÉ ZAŘÍZENÍ PRO SPALOVÁNÍ BIOMASY

V současné době je již trh v ČR zásoben celou řadou spalovacích zařízení různých tuzemských i zahraničních výrobců pro ekologické spalování biopaliv v celé šíři topných výkonů – od malých zařízení určených pro nízkoenergetické rodinné domky, přes střední objekty až po větší výkony teplárenských provozů – viz základní přehled dále..

Pozitivním rysem je, že současně s vlastním spalovacím zařízením je uváděno na trh také příslušenství pro přípravu, skladování a podávání paliva do kotlů. Toto příslušenství, které u kotlů velkých výkonů je naprostou samozřejmostí a nutností (jedná se o velká hodinová množství dodávaného paliva ke spalování), je dnes k dispozici i pro zařízení malých výkonů. Tak dochází ke zvyšování komfortu obsluhy a zařízení tak nachází uplatnění u stále širšího okruhu zákazníků, protože je minimalizován rozsah nepohodlné ruční obsluhy. Současná topeniště jsou rovněž konstruována tak, aby kotle bylo možno vybavit špičkovým zařízením automatické regulace s elektronickými prvky a přitom je zařízení v celém regulovatelném rozsahu výkonu ohleduplné k životnímu prostředí a má vysokou účinnost spalování. Díky uvedenému příslušenství vč. elektrického zapalování, dálkového ovládání kotle, poloautomatického čištění výměníku apod., pociťuje např. majitel rodinného domku téměř srovnatelný uživatelský komfort jako u kotle plynového nebo elektrického. Nevýhodou je pouze nárůst investičních nákladů při použití tohoto příslušenství.

Jedná se zejména o spalovací zařízení na dřevní štěpku a peletky, ale také na zplyňování kusového dřeva.

TAB. 24 PŘEHLED NEJBĚŽNĚJŠÍCH KOTLŮ NA ČESKÉM TRHU

Typ	Rozsah výkonů	Palivo
Atmos	14 až 100 kW	Kusové dřevo, pelety, dřevěné brikety
Ponast	5 až 49 kW	Pelety
V - LING	5 až 40 kW	Pelety, obilí, kusové dřevo
Verner	7 až 45 kW	Kusové dřevo, pelety, obilí, kukuřice, jiná biopaliva
Hamont	15 až 500 kW	Pelety, piliny, štěpka, hobliny, kůra, dřevní odpad
Viadrus	11 až 58	Kusové dřevo
Pyros kombi	14 až 55 kW	Kusové dřevo a pelety
Agromechanika AM	18 až 29 kW	Kusové dřevo, štěpka, pelety, piliny, hobliny, dřevěné brikety
Fröling	3 až 70 kW	Pelety, štěpka, kusové dřevo
Atoma - KTP	20 až 49 kW	Kusové dřevo, dřevní odpad, pelety, piliny (i vlhké palivo)
EKO - KOMFORT	18 až 350 kW	Pelety
Ekovariant	0,1 až 1,2 MW	Piliny, hobliny, štěpka, dřevěný prach, odřezky, kůra, pelety, dřevěné brikety
VESKO - B	1 až 10 MW	Různé druhy biopaliva

Skladování a podávání paliva do kotlů

Pro dlouhodobější skladování paliva jsou většinou používána sila, která bývají provedena jako zděná nebo z ocelové konstrukce a jsou umístěna uvnitř nebo vně objektů. Velikost a provedení těchto skladů odpovídají druhu paliva, místním podmínkám, výši roční potřeby paliva, předpokládané četnosti navážení paliva apod. Důležitým požadavkem – zejména pokud jsou do sila pelety nebo jiné biopalivo nafoukávány z cisterny – je prachotěsnost tohoto skladu.

Pokud je palivem štěpka, je většinou skladována způsobem, který umožňuje její provětrání (dosušení). Praktické se jeví jednoduché zastřešené sklady umístěné ve venkovním prostoru a ohraničené drátěným pletivem v kombinaci s menšími sklady vysušené štěpky umístěnými uvnitř s elektricky poháněnými hrabadly a dopravníky pro možnost automatické dopravy paliva do meziskladu u kotle a do kotle.

Ze skladu (sila) je palivo většinou podáváno do mezizásobníku, který bývá umístěn přímo u kotle. Z mezizásobníku je palivo podáváno do kotle – dávkování je řízeno přímo automatikou kotle. Pro podávání ze sila do mezizásobníku před kotlem jsou dnes používány šnekové dopravníky nebo modernější systém pneumatické dopravy.

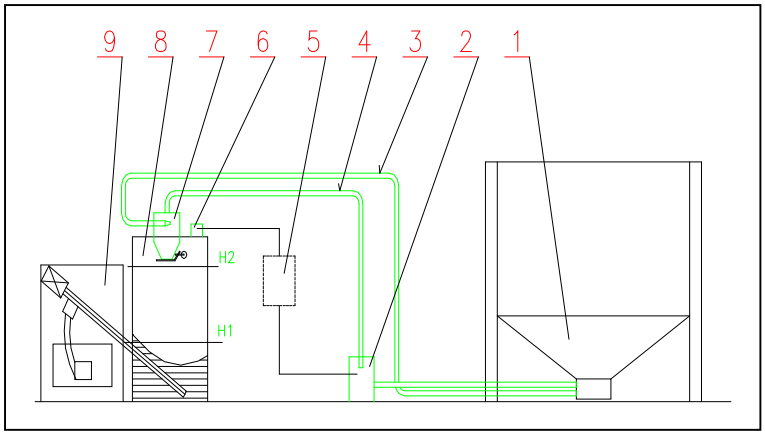
V současné době lze z popsaných komponentů sestavit plně automatický zdroj tepla, prakticky bezobslužný. Samozřejmostí je automatické zajištění všech havarijních a poruchových stavů mezi které např. patří i výpadek elektrického proudu nebo hrozba prohoření paliva směrem od kotle do zásobníku. Hlavní úlohou obsluhy je pravidelná kontrola stavu, občasné vyčištění kotle (odstranění popela) a hlavně doplňování paliva do hlavního skladu (sila). Množství popele je při správné volbě paliva zanedbatelné (např. při spalování pelet je ho pouze 1%!!!).

Šnekové dopravníky

Šnekové dopravníky jsou oblíbené a také dostatečně známé např. z topných systémů na spalování dřevní štěpky. Pohon dopravníku je většinou spřažen s hořákem kotle a průběžně doplňuje palivo do kotlového mezizásobníku po celou dobu činnosti hořáku. Tento způsob dopravy se používá především tam, kde je sklad pelet situován dostatečně blízko k samotnému kotli (převážně do 6 metrů). Každý další dopravní metr je u tohoto způsobu spojen jak s navýšením investičních nákladů, tak i s vyššími nároky na dimenzování pohonu dopravníku. Při běžném provedení s průměrem šnekové hřídele 60 mm je postačující pohon jednofázovým asynchronním motorem o el. příkonu 180W. Dopravované množství pelet se pohybuje na maximální hranici 15 kg/hod. Celkové množství energie na přepravu např. 6 tun pelet tak dosahuje hodnoty cca 70 kWh. Výhodou šnekového dopravníku je, že u speciálně upravených skladů může díky dlouhému šnekového kolektoru umístěnému ve sběrném žlabu pelety průběžně odebírat z celého skladového prostoru.

Podtlaková pneumatická doprava

Speciálně pro pelety byl vyvinut poměrně nový systém dopravníků založený na principu podtlakové dopravy. Schéma a princip činnosti pneumatické dopravy – viz obrázek dále. Základními prvky jsou cyklon (poz. 7) umístěný na mezizásobníku (poz.8) před kotlem (poz.9), sací ventilátor (poz.2), regulátor (poz.5) a sací sonda umístěná na odběrném místě pod zásobníkem (silem) – poz.1. (Podávání z mezizásobníku do kotle je zajištěno pomocí typového šnekového podavače s gravitačním vstupem do topeniště pro zabránění prohoření do mezizásobníku). Cyklon, ventilátor a sonda jsou propojeny průmyslovými antistatickými hadicemi (poz. 3, 4), které jsou vyztuženy kovovou spirálou. množství pelet v mezizásobníku je kontrolováno hladinovým čidlem (poz.6) - rotačním vrtulovým hladinoznakem nebo optickým čidlem. Pokud je použit rotační vrtulový hladinoznak, princip jeho činnosti je následující: pokud je vrtulka čidla volná (tj. nezasypaná peletami – hladina je nižší jak H1), volně se protáčí a mikrospínač čidla je v poloze zapnuto; je-li vrtulka čidla zasypaná peletami, nemůže se protáčet a čidlo je „vyřazeno“ z provozu; čidlo s ventilátorem jsou přitom napojeny na regulátor; v případě, že hladina pelet klesne pod úroveň H1, čidlo uveden do činnosti proces doplňování paliva. Spustí se sací ventilátor. Sání ventilátoru je hadicí (poz.4) napojeno na cyklon, ze kterého je vysáván vzduch – gravitační klapka ve spodní části cyklonu jej uzavře – v cyklonu vznikne podtlak, díky němuž jsou hadicí (poz.3) sondou z hlavního zásobníku nasávány pelety do cyklonu. Po určité době se cyklon naplní – ventilátor vypne – podtlak v cyklonu zmizí a proto pelety v cyklonu vlastní vahou otevřou spodní gravitační klapku a cyklon se vyprázdní do mezizásobníku. První cyklus je ukončen a může být spuštěn další. Délka jednoho cyklu a celkové množství cyklů během doplňování (než je v mezizásobníku dosaženo hladiny H2) je dle druhu pelet a velikosti mezizásobníku nastavitelná na regulátoru. Vzduch vysávaný z cyklonu je přes ventilátor vyfukování do hlavního zásobníku, kde „rozvířování“ pelet nad odběrným místem zabraňuje vzniku klenby.



Obr. 10 Princip a schéma pneumatické dopravy:

Výhodou pneumatické dopravy je to, že dovoluje distribuovat pelety bez problémů do vzdálenosti až 20 metrů s převýšením až 6 metrů. Náklady na jeden „dopravní“ metr jsou přitom až 10x nižší ve srovnání s dopravníky šnekovými. Relativně hlučný ventilátor bývá opatřen jednofázovým motorem o el. příkonu cca 1600W, avšak přepravované množství pelet se pohybuje na hranici 15 kg/min, takže k dopravě denního množství paliva stačí jen několik minut provozu. Pro dopravu např. 6 tun pelet ročně postačí celkové množství el. energie ve výši 11 kWh. U rozsáhlejších skladů, které jsou vzdáleny od kotle se často používá kombinace šnekového dopravníku, který pelety odebírá ze zásobníku, a pneumatické dopravy, který takto odebrané pelety „odešle“ ke vzdálenému kotli. nebo je možno odebírat pelety z velkého skladu jen pomocí pneumatické dopravy, ale s použitím několika sond, které jsou dle potřeby různě aktivovány pro odsávání.

Správně vyřešený systém skladování a distribuce pelet při jejich použití jako paliva může značně zvýšit celkovou úroveň vytápění – bez ohledu na to, zda je zdroj tepla na pelety umístěn v rodinném domku, bytovém domě nebo v budově úřadu či školy.

Ekonomika provozu

a) Cena tepla z obnovitelných zdrojů a ze zemního plynu

Cena tepla je ovlivněna cenou paliva, která se v každém místě ČR mírně liší a navíc se stále mění i v čase. U obnovitelných zdrojů (zejména u štěpky) svou roli hraje také vlhkost paliva. Pro možnost jednoduchého srovnání je cena tepla ze zemního plynu, štěpky a pelet uvedena podrobněji pro různé vstupní podmínky:

Tab. 25 Cena tepla ze zemního plynu

Zemní plyn – výhř. 34,05 MJ/m^3		Cena vyrobeného tepla v malých kotelnách v závislosti na roční účinnosti spalování		
sazba za jedn.	cena tepla v palivu	η = 87%-122m^{3}ZP/MWh		η = 92%-155m^{3}ZP/MWh
Kč/m^3	Kč/MWh	Kč/GJ	Kč/MWh	Kč/GJ
9	952	304	1094	**287**
10	1057	338	1215	**319**
11	1163	371	1337	**351**
12	1269	405	1458	**383**

Poznámka: V sazbě za jednotku je započítána i pevná cena za pronájem plynoměru.
*V dalších výpočtech je uvažována střední cena tepla ve výši **374,- Kč/GJ**.*

Tab. 26 Cena tepla z pelet

Pelety – výhřevnost 18,5 MJ/kg		Cena vyrobeného tepla v malých kotelnách v závislosti na roční účinnosti spalování		
sazba za jedn.	cena tepla v palivu	η = 80%-243 kg/MWh		η = 85%-229kg/MWh
Kč/kg	Kč/MWh	Kč/GJ	Kč/MWh	Kč/GJ
3,25	632	220	791	**207**
3,5	681	236	851	**223**
3,75	730	253	912	**238**
4	778	270	973	**254**

*Poznámka: V dalších výpočtech je uvažována cena tepla ve výši **230,- Kč/GJ**.*

Tab. 27 Cena tepla ze štěpky

Objem. Cena	Váhová cena	Měr.váha	Vlhkost	Výhřevnost		Účin. Spal.	Využitelné teplo	Cena tepla
Kč/m^3	Kč/t	kg/m^3		MJ/kg	kWh/kg	η	kWh/kg	Kč/GJ
150	536	280	40%	10,1	2,8	85%	2,38	**62**
200	714	280	40%	10,1	2,8	85%	2,38	**83**
180	679	265	35%	11,2	3,1	86%	2,67	**71**
250	893	280	40%	10,1	2,8	85%	2,38	**104**
300	1071	280	40%	10,1	2,8	85%	2,38	**125**

*Poznámka: V dalších výpočtech je uvažována cena tepla ve výši **90,- Kč/GJ**.*

b) Porovnání ceny tepla z dostupných paliv

Rozhodujícím faktorem ovlivňujícím provozní náklady (při snížení podílu ruční práce použitím odpovídajícího příslušenství) je samozřejmě cena paliva. Srovnávacím kriteriem důležitým v rozhodovacím procesu každého investora při volbě jeho topného systému je cena dalších dostupných paliv. Je jasné, že cena paliva a energie obecně stále roste, ovšem nestejnoměrným tempem, proto se vzájemné relace cen různých paliv stále mění (viz podrobnější rozbor ceny tepla ze zemního plynu, pelet a štěpky uvedený v předcházejícím odstavci), i když poměrně mírně. V současné době vypadá situace v průměru následovně (započítána je účinnost užití každého paliva). Při sestavení byla využita tabulka ing. Klobušníka – viz Příloha č.1:

Tab.28

Palivo	Cena paliva s uvažováním účinnosti užití (Kč/GJ)	Vzájemná relace (100% = pelety) (%)
Dřevo, štěpka, dřevěný odpad	**90**	**39**
Hnědé uhlí	142	62
Černé uhlí	167	73
Koks	217	94
Dřevéné pelety	**230**	**100**
Dřevěné brikety	**236**	**103**
Zemní plyn	374	163
Elektřina - akumulace	400	174
Elektřina - přímotop	480	209
Propan	536	233

Je zřejmé, že určitým problémem při hromadném prosazování biopaliv je stále jejich poměrně vysoká cena – zejména ve srovnání s ostatními tuhými palivy. Nejlevnější je štěpka a kusové dřevo. Ovšem u kusového dřeva je u menších topenišť většinou vyšší podíl ruční obsluhy (započítáním této obsluhy se cena tepla samozřejmě zvýší). Co se týče štěpky, v současné době není ještě trh s touto komoditou plně rozvinut. Proto je nutno před realizací zdroje tepla na štěpku prověřit zdroje této suroviny (i z dlouhodobého hlediska). Lze předpokládat, že při rozšíření komerční výroby štěpky se její cena zvýší.

Praktické aplikace

Příklad č.1 – Zdroj tepla v rodinném domku, max. tepelná ztráta 12 kW, palivo pelety, plně automatické podávání paliva.

Kotel na pelety 15 kW s mezizásobníkem	85 tis. Kč
Sklad paliva (silo) + pneumatická doprava	122 tis. Kč
Strojovna ÚT, TV s integrovaným zásobníkem	72 tis. Kč
Cena zdroje tepla celkem:	**279 tis. Kč (vč. DPH)**

Roční náklady na vytápění a přípravu teplé vody: **17,2 tis. Kč**

Tab. 29 Srovnání s „klasickým“ plynovým a elektrickým vytápěním:

Způsob vytápění	Investiční náklady (tis. Kč)	Provozní náklady (tis. Kč/rok)	Prostá návratnost investice do OZE (roky)
Plynový zdroj	175	28,0	9,6
El. - přímotop	110	35,9	9,0

Je zřejmé, že návratnost plně automatizovaného bezobslužného zdroje tepla na pelety v rodinném domku má již dnes velmi zajímavou návratnost (ve srovnání s běžným plynovým a elektrickým přímotopným vytápěním).

Příklad č.2 – Zdroj tepla ve středním objektu, max. tepelná ztráta 70 kW, palivo pelety, plně automatické podávání paliva.

2x kotel na peletky 2x50 kW s mezizásobníkem	264 tis. Kč
Sklad paliva (silo) + pneumatická doprava	296 tis. Kč
Strojovna ÚT, TV	74 tis. Kč
Cena zdroje tepla celkem:	**634 tis. Kč (vč. DPH)**

Roční náklady na vytápění a přípravu teplé vody: **112 tis. Kč**

Tab. 30 Srovnání s „klasickým“ plynovým a elektrickým vytápěním:

Způsob vytápění	Investiční náklady (tis. Kč)	Provozní náklady (tis. Kč/rok)	Návratnost investice (roky)
Plynový zdroj	365	229	2,3
El. - přímotop	248	361	1,6

Je zřejmé, že návratnost plně automatizovaného bezobslužného zdroje tepla na pelety u většího objektu je mimořádně zajímavá!

11 PALIVOVÉ ČLÁNKY

Ve snaze snížit spotřebu primárních energetických zdrojů při vytápění budov se nabízí jako velmi perspektivní technologický prvek palivový článek. Výhodou je nejen přímá přeměna chemické energie na elektrickou, ale i vysoká účinnost procesu a současně jeho vyšší spolehlivost, neboť nejsou přítomny pohyblivé části. Současně vzniká čistá tepelná energie, ovšem v menším množství než při klasických přeměnách energie, kterou lze dobře využít pro vytápění budov. Proti složitým elektrárenským přeměnám energií je palivový článek symbolem jednoduchosti. Odpadají u něj ztráty mnoha přeměn energie a tím i omezení účinnosti Carnatovým cyklem. Svou vysokou účinností (až přes 60%) se postupně dostává na přední místo pro výrobu elektrické energie a tepla.

Princip palivového článku

Princip palivového článku je velice jednoduchý. Článek se skládá ze tří základních částí – dvou porézních elektrod a elektrolytu, kterým mohou procházet ionty, ale ne molekuly nebo elektrony. Porézní elektrody jsou spojeny přes vnější elektrický obvod se zátěží.

Na elektrodách vzniká při elektrochemické reakci elektrický náboj. Potenciálový rozdíl mezi katodou a anodou představuje hnací sílu elektrochemické reakce palivového článku. Ve vnějším elektrickém obvodu pak lze tento potenciálový rozdíl přeměnit na elektrickou práci. Elektrochemická reakce probíhá pouze v případě, že elektrický obvod je uzavřený. Při přerušení obvodu se elektrochemická reakce okamžitě zastaví.

Palivové články se sice liší použitým materiálem a provedením elektrod, použitými katalyzátory, elektrolyty a palivy, pracovní teplotou a průběhem chemických reakcí na elektrodách, ale základní princip přeměny energie na energii elektrickou je stejný pro všechny typy palivových článků.

Palivový článek je elektrochemický generátor elektrického proudu v němž probíhá opačná reakce než při elektrolýze. Zavedení dvou elektrod se stejnosměrným proudem do vody způsobí uvolňování kyslíku u jedné a vodíku u druhé elektrody. Palivový článek je téměř totéž, ale obráceně.

Typy palivových článků

Jednotlivé palivové články lze rozdělit podle směru průchodu iontů elektrolytem, podle provozní teploty, materiálu elektrolytu.

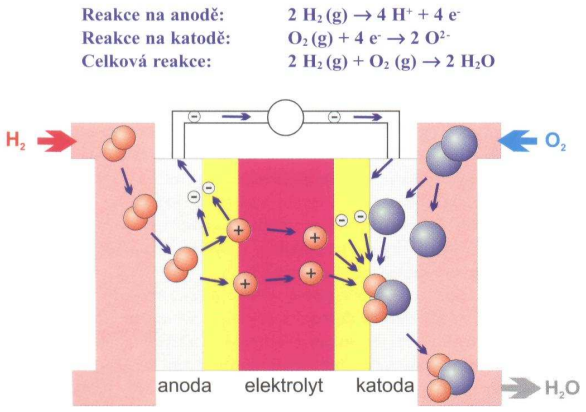
Podle provozní teploty lze palivové články rozdělit na :

- nízkoteplotní 80 – 120°C
- střednětеplotní 160 – 220°C
- vysokoteplotní 600 – 1 100°C

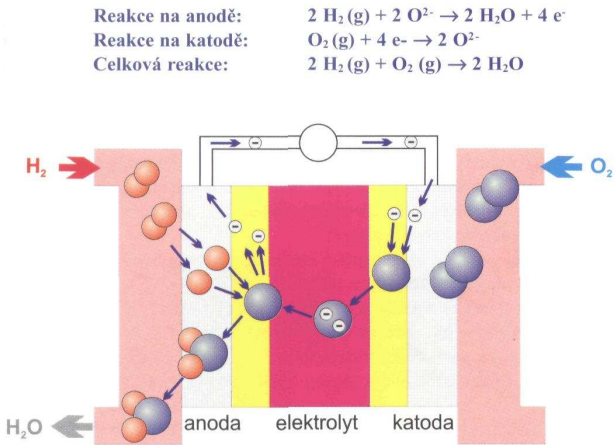
Průchod iontů elektrolytem :

Podle směru toku iontů elektrolytem se palivové články dělí na dvě základní skupiny : na články vodíkové a články kyslíkové. Ve **vodíkovém článku** se vodík přivádí na zápornou elektrodu. Zde za pomoci katalyzátoru proběhne oxidace vodíku, při které dojde k rozštěpení jeho atomů na vodíkové aniony (protony) a elektrony. Protony procházejí elektrolytem směrem ke katodě. Elektrony putují ke katodě vnějším elektrickým obvodem. Na katodě pak dojde k reakci

mezi kyslíkem a elektrony za vzniku kyslíkových aniontů, které pak reagují s vodíkovými kationy za vzniku vody.



Obr. 10 Princip vodíkového článku [22]



Obr.11 Princip kyslíkového článku [22]

Princip kyslíkového článku je obdobný. I zde se vodík přivádí na zápornou elektrodu. Zde reaguje s kyslíkovým anionem, který se do prostoru anody dostal z prostoru katody průchodem elektrolytem, za vzniku vody a volných elektronů, které pak vnějším elektrickým obvodem putují do prostoru katody, kde reagují s kyslíkem za vzniku kyslíkového anionu.

Jednotlivé články lze pro zvýšení napětí a výkonu spojovat do větších celků. Prakticky neexistuje žádné omezení počtu možných elementárních článků v jednotce, a tak lze konstruovat jednotky s elektrickým výkonem od wattů až po megawatty. Výhodou článků je, že malé články pracují prakticky se stejnou účinností jako články velké.

Elektrolyty :

V současné době je pět základních typů palivových článků podle použitého elektrolytu :

- AFC – alkalické články, které využívají jako elektrolyt zředěný roztok hydroxidu draselného (označení AFC – z anglického alkaline fuel cell). Alkalické články jsou články kyslíkové, podle teploty se zařazují mezi nízkoteplotní články, účinnost při použití čistého vodíku je až 60%.
- PEFC – články s tuhými polymery, kde je jako elektrolyt využívána polymerová fólie na bázi uhlíku a fluoru (označení PEFC – proton exchange membrane fuell cell). Tyto články jsou články vodíkové, podle teploty se zařazují mezi nízkoteplotní články, účinnost při použití čistého vodíku je až 60%.
- PAFC – články s kyselinou fosforečnou, jejichž elektrolyt tvoří 100% kyselina fosforečná H_3PO_4 (označení PAFC – phosphoric acid fuel cell). Články s kyselinou fosforečnou jsou články vodíkové, podle teploty se zařazují mezi střednědteplotní články, účinnost při použití čistého vodíku se pohybuje kolem 40%.
- MCFC – články s roztavenými uhličitany, v nichž je elektrolyt tvořen směsí roztavených uhličitanů litného a draselného (označení MCFC – molten carbonate fuel cell). Uhličitané články jsou články kyslíkové, podle teploty se zařazují mezi vysokoteplotní články, účinnost je až 60%.
- SOFC – články s tuhými oxidy, s elektrolytem tvořeným oxidem zirkoničitým s příměsí oxidu yttritého (označení SOFC – solid oxide fuel cell). Články s tuhými oxidy jsou články kyslíkové, podle teploty se zařazují mezi vysokoteplotní články, účinnost je až 65%.

Elektrody :

Provedení anody musí odpovídat skupenství paliva, které je v článku využíváno. Pokud je to plyn, musí elektroda poskytovat co nejvíce prostoru, kde se mohou stýkat tři fáze – pevná (elektrody, případně katalyzátor), kapalná (některé elektrolyty) a plynná (palivo). Tato místa styku fází jsou tvořena soustavou kapilár a pórů.

Pokud je využíváno kapalné palivo, dochází na elektrodě ke styku pouze dvou fází – pevné a kapalné. Jemná porézní struktura elektrody, která je nutná pro plynná paliva, ztrácí na důležitosti a hlavním parametrem je velikost aktivního povrchu elektrody.

Jelikož se jako okysličovadlo nejčastěji používá plyn, musí katoda mít stejné vlastnosti jako anoda pro plynná paliva.

Tab. 31 Používané materiály na elektrody [22]

	Katoda	Anoda
AFC	Spékaný práškový nikl s přísadou uhlíku	
PEFC	Porézní grafit	
PAFC	Porézní grafit	
MCFC	Oxid nikelnatý s přídavkem lithia	Spékaný práškový nikl a přídavkem chrómu
SOFC	Slitina lanthanu a oxidu manganatého s přídavkem stroncia	Směs niklu a oxidu zirkoničitého s přídavkem oxidu yttritého

Paliva :

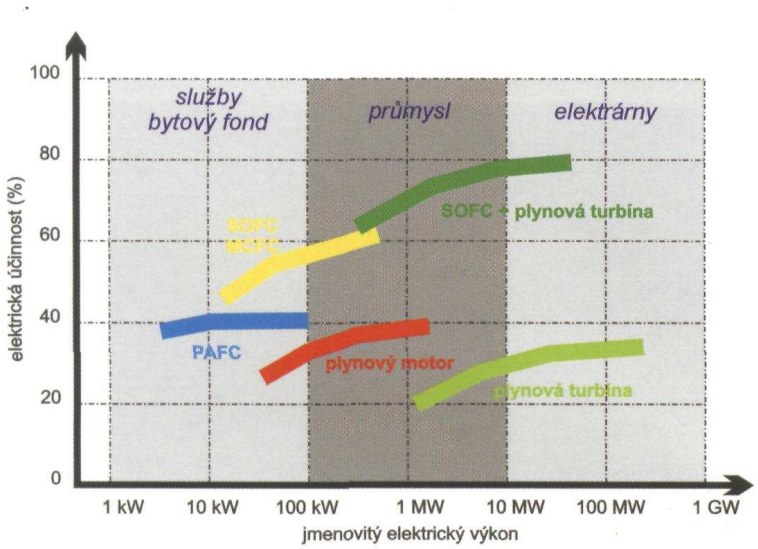
Jako palivo v palivových článcích lze úspěšně využívat nejen vodík, ale řadu dalších plynných, kapalných nebo i pevných paliv. Z plynných paliv jsou to vedle vodíku hlavně plyny s vysokým obsahem metanu (zemní plyn, bioplyn, apod.) nebo oxid uhelnatý, z kapalných paliv zejména metanol, popřípadě vyšší alkoholy. Je možné efektivně využít i kapalná paliva používaná k pohonu motorových vozidel (zde může palivový článek nahradit akumulátory). Z tuhých látek lze využít uhlí nebo některé kovy (např. sodík nebo hořčík). Okysličovadla mohou být nejen plynná, ale také kapalná nebo pevná. Z praktických důvodů se ale nejvíce využívá vzdušný kyslík.

Tab.32 požadavky na paliva a okysličovadla [22]

Článek	Palivo	Okysličovadlo
AFC	Vodík	Kyslík nebo vzduch + vodní pára
	Plyny musí být prosté od oxidu uhličitého (ničí elektrolyt)	
PEFC	Vodík (může obsahovat malá množství oxidu uhličitého a dusíku). Pro zvlhčování membrány se přidává voda.	Vzduch
	Plyny nesmí obsahovat žádný oxid uhelnatý (jed pro katalyzátory)	
PAFC	Vodík (může obsahovat malá množství oxidu uhličitého a dusíku), metan	Vzduch
	Plyny nesmí obsahovat žádný oxid uhelnatý (jed pro katalyzátory), při provozu je nutné dodržovat provozní teplotu, kolísání teploty je nežádoucí.	
MCFC	Vodík, metan	Vzduch s přídavkem oxidu uhličitého
SOFC	Vodík, metan, kapalná paliva	Vzduch
	Je možné použít paliva s obsahem CO.	

Vlastnosti palivových článků :

Hlavní perspektiva palivových článků je v jejich využití pro výrobu elektřiny a tepla. Palivové články mají oproti klasickým zdrojům řadu výhod. V prvé řadě je to výrazně vyšší účinnost výroby elektřiny, která je daná přímou přeměnou chemické energie paliva na energii elektrickou bez zbytečných ztrát, které vznikají při převodu na tepelnou energii nebo mechanickou energii a následně na elektrickou energii při klasické výrobě elektřiny.



Obr. 12 Elektrická účinnost a výkon palivových článků při použití metanu [22]

Dalším významným faktorem je ekologický provoz palivových článků. Při využití čistého vodíku jako paliva je jediným odpadem vody, na rozdíl od využití fosilních paliv a biomasy při klasické výrobě elektřiny, kde je výroba doprovázena produkcí plynných látek na bázi uhlíku, dusíku a síry odcházejících do ovzduší. Při použití vodíku získaného reformování zemního plynu se do ovzduší dostávají oxid uhličitý a oxidy dusíku (příp. i další látky podle reformovaného paliva), ale v množstvích výrazně nižších ve srovnání s klasickou výrobou elektřiny.

Mezi další výhody oproti klasickým způsobům lze uvést tichý chod palivového článku, minimum pohyblivých součástí (což znamená snížení nároků na údržbu), nízké opotřebení, vysoká životnost článků (výrobci udávají až desetitisíce hodin), schopnost snášet i značná přetížení nebo možnost použití různých plynných paliv.

Palivové články mají i své nevýhody. Patří mezi ně nutnost dodržování optimální teploty a tlaku medií, nebo nutnost nepřetržitého odebírání reakčních zplodin, jejichž množství závisí na odebíraném elektrickém proudu.

Některé články jsou citlivé na čistotu paliva nebo okysličovadla, u některých článků se musí do paliva nebo okysličovadla některé látky dodávat. Mezi nevýhody patří zatím také vysoké investiční náklady.

Nevýhodou je také prodleva, která uplyne od zapnutí článku po jeho provoz na plný výkon. Tato prodleva trvá od několika vteřin po několik minut (závisí na provozní teplotě – čím vyšší teplota, tím delší prodleva). Časová prodleva nevadí u velkých stacionárních energetických centrál, kde i kogenerační jednotky využívající spalovací motory pracují na plný výkon až po určité době.

Komerční využití palivových článků :

Palivové články budou nacházet uplatnění hlavně ve třech oblastech využití :

- výroba elektrické a tepelné energie ve stacionárních zdrojích
- pohon motorových vozidel
- energetické zdroje pro přenosné zařízení (notebooky, telefony, kamery, apod.)

Výroba elektrické energie ve stacionárních zdrojích :

Tato zařízení mají účinnost díky využívání odpadního tepla až 85%. Podobně jako kogenerační jednotky s plynovými motory mohou být instalovány přímo v místě spotřeby vyráběných energií. Decentralizace výroby elektřiny má své výhody – klesají náklady na výstavbu a údržbu vysokonapěťových rozvodných sítí, odběratelé jsou nezávislí na případných poruchách v těchto sítích. Vedle palivových článků středních a velkých výkonů (v řádu stovek kW_e až desítek MW_e), které jsou využitelné pro zásobování velkých budov, obytných celků nebo výrobních závodů, jsou vyvíjeny i články s výkonem do 10 kW_e, které mohou být využity pro zásobování rodinných domků.

Výhodou palivových článků oproti kogeneračním jednotkám s plynovými motory je, že produkují na každou vyrobenou kWh elektrické energie přibližně jednu kWh energie tepelné.

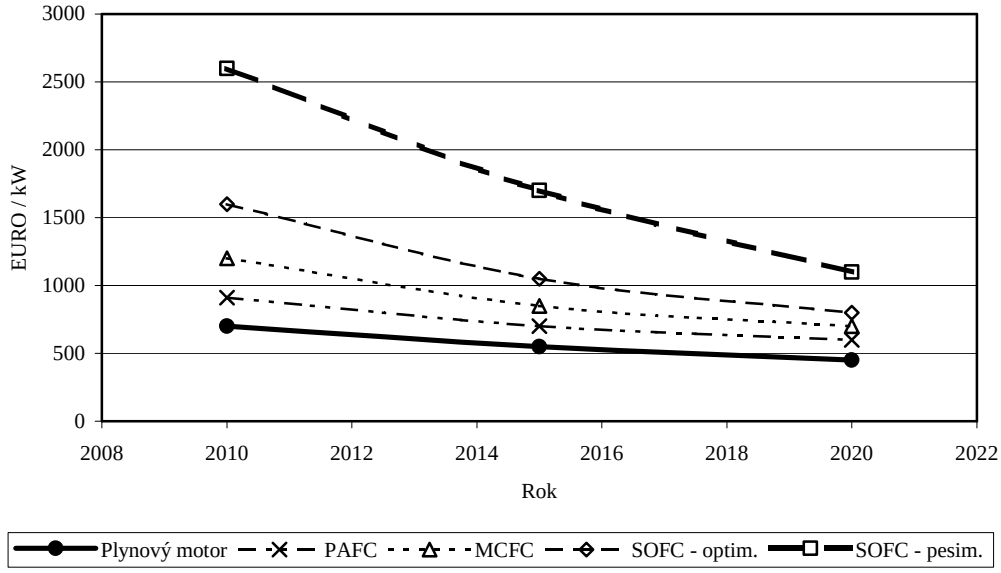
Statické palivové články dělíme do dvou základních skupin. Do prvé patří menší energetické zdroje pro rodinné domy s elektrickým výkonem převážně 5 – 10kW. Druhou skupinu tvoří kogenerátory s elektrickým výkonem od 50 kW výše pro větší komplexy budov nebo celá sídliště. Většina z těchto doposud vyrobených kogenerátorů měla výkon kolem 200kW, sestrojeny už byly ale jednotky o výkonu několika MW a do budoucna se počítá s výkony až do 100 MW. Do konce roku 2002 bylo ve světě vyrobeno přibližně 1 00ks energetických zdrojů do rodinných domů a cca 600ks výkonných kogenerátorů nad 50kW. V první skupině jednoznačně převládají palivové články membránové, u generátorů druhé skupiny se jedná nejvíce o středně teplotní palivové články na bázi kyseliny fosforečné (PAFC – Phosphoric Acid Fuel Cell). V této skupině lze očekávat, že se do budoucna budou více uplatňovat vysokoteplotní články na bázi tavených karbonátů (MCFC – Molten Carbonate Fuel Cell) a především palivové články s vodivými oxidy (SOFC – Solid Oxide Fuel Cells).

Tab. 33 Hlavní uplatnění palivových článků

Typ	Výkon	Aplikace
AFC	do 100 kW	Nejznámější využití je v kosmickém programu Apollo. Nové aplikace s tímto článkem se již nevyvíjí.
PEFC	do 500 kW	Hlavní uplatnění pro pohon motorových vozidel a stacionárních jednotek malého a středního výkonu.
DMFC		Zdroj elektřiny pro přenosná zařízení.
PAFC	do 15 MW	Dnes největší počet provozovaných článků, uplatnění hlavně u stacionárních zdrojů elektřiny.
MCFC	předpoklad v řádu desítek MW	Stacionární zdroje elektřiny s dalším využitím odpadního tepla pro výrobu elektřiny v parním cyklu.
SOFC	předpoklad v řádu desítek až stovek MW	

Investiční náklady :V současné době je těžké jednoznačně určovat náklady na instalovanou kW palivových článků. Záleží na výkonu a typu. V oblasti výkonů cca 200 kW byla cena u článků PAFC cca 20 – 25 000,-Kč/kW_{el} , u článků MCFC pak 24 – 30 000,-Kč/kW_{el}. Předpokládá se pokles těchto cen. Celkové náklady (systémové) jsou o cca 20 – 40% vyšší. Vždy je potřeba provést

individuální posouzení. Srovnání cen palivových článků a kogeneračních jednotek s plynnými motory je v grafu č.15, kde je vidět i předpokládaný pokles cen.



Graf 15 : Porovnání účinností výrobních jednotek

Provozní náklady vyrobené elektrické energie :

Závisí na ceně vstupního paliva (ZP, bioplyn, event. jiné) a odpisech investičních nákladů. Ty závisí na životnosti palivových článků, které se pohybují od 7 do 15 let. Výraznou roli zde sehrají dotace. Vzhledem k zatím malému počtu aplikací je nutno cenu vyrobené energie stanovit individuálně. Přestože se očekává nárůst cen paliv, pokles investičních nákladů a zvyšování účinnosti způsobí i zde snížení celkových provozních nákladů.

12 KOMBINOVANÁ VÝROBA EL. A TEPLA (kogenerace)

Sledujeme.li snížení spotřeby tepla při vytápění budov, oblast kogenerace nabízí značný potenciál úspor. Právě proto byla přijata Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2004/8/ES z 11.2.2004 o podpoře kombinované výroby elektřiny a tepla (dále KVET) a změně směrnice 92/42/EHS.

Účelem připravované směrnice se sleduje zejména :

- Uspořit primární energetické zdroje
- Snížit závislost na importu energie (pozoruhodné je, že v EU se dováží 50% všech energií a do roku 2030 hrozí nárůst na 70%) a tím snížit rizika ohrožení dodávek energie
- Snížit emise, zejména skleníkových plynů.

Tyto stanovené základní cíle přestavují podle navrhovatelů směrnice cestu k trvale udržitelnému rozvoji Evropy i tohoto světa. Toho lze dosáhnout zejména s významným přispěním a preferováním tzv. vysoce účinné kogenerace. Stěžejní motto směrnice jako celku je tudíž zvýšení celkové energetické účinnosti a zvýšení bezpečnosti dodávek elektřiny prostřednictvím podpory a rozvoje účinné kogenerace, založené na výrobě „užitečného tepla na vnitřním trhu EU, vycházející ze specifických národních podmínek, zejména klimatických a ekonomických.

Směrnice zahrnuje následující technologie KVET :

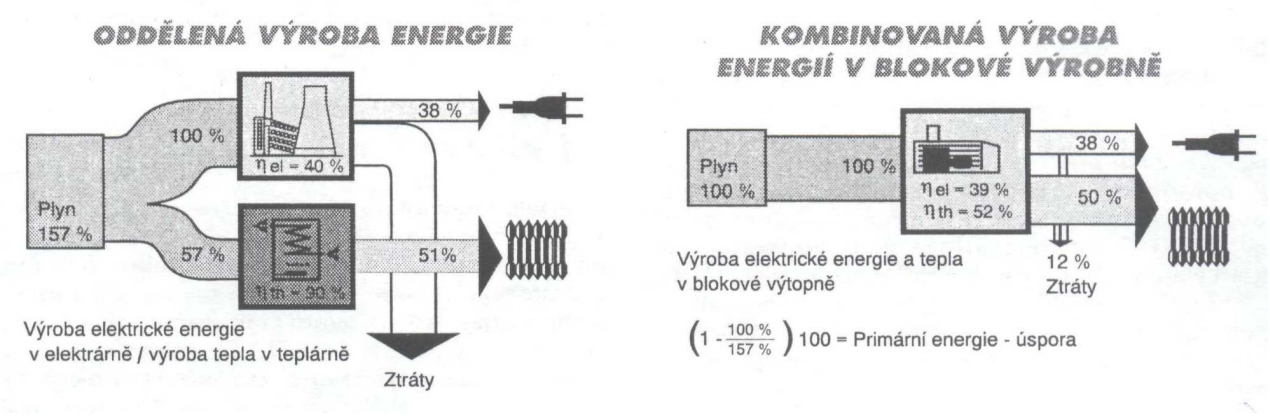
a) kombinované cykly s využitím tepla

b) parní protitlakové turbíny
c) parní odběrové turbíny
d) spalovací turbíny s využitím tepla
e) motory s vnitřním spalováním (pístové)
f) mikroturbíny
g) Stirlingovy motory
h) Palivové články
i) Parní motory
j) Celky pracující na bázi Rankin – Clausiova cyklu
k) Všechny další podobné technologie, v souladu s definicí KVET

Pro přímé vytápění budov uvažovat plynové (pístové) motory a palivové články (kap.5). Perspektivní budou také mikroturbíny a Stirlingovy motory po rozvinutí výkonových řad a zavedení do sériové výroby.

Kogenerace představuje vysoce efektivní princip výroby tepla a elektrické energie. Oproti klasickým elektrárnám, ve kterých je teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k vytápění a šetří tak palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup. Účinnost výroby elektrické energie v tepelných elektrárnách se pohybuje od 25 do 35 %. Naproti tomu kogenerační jednotka pracuje díky využití tepla s účinností 80 až 90%.

Stupeň konverze energie obsažené v primárním palivu na elektrickou energii je cca 30 – 41%, účinnost výroby tepla je cca 45 – 57%, celková účinnost využití energie v palivu činí cca 80 – 90%. Cenou za vyšší podíl vyráběné elektřiny je však nutnost spalovat plynné palivo, tzn. ve většině případů drahý zemní plyn, jako alternativní plynné palivo je možno použít i bioplyn nebo jiný odpadní plyn. Nízká výhřevnost těchto plynů však vyžaduje konstrukční úpravy motoru či turbíny, navíc se projeví v nižší elektrické účinnosti.



Obr.13 Primární energie – úspora prostřednictvím blokové výroby

V tomto nastaveném příkladu činí úspora primární energie 36%, s jinými účinnostmi procesů může být úspora až 40%.

Teplo i elektrická energie vznikají navíc v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod i ztráty způsobené dálkovým rozvodem. Teplo z kogenerační jednotky je využíváno k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo technologického tepla. Kogenerační jednotky se synchronním generátorem mohou rovněž plnit funkci náhradního zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby. Pomocí adsorpčního výměníku je možné vzniklé teplo využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci.

Kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka jsou konstrukčně uspořádány do bloku, tzn. že motor, generátor a ostatní příslušenství (tepelné výměníky, armatury, tlumič výfuku, apod.) jsou umístěny na společném rámu pod protihlukovou kapotou. Jednotky jsou dodávány včetně elektrického rozvaděče.

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze zážehového spalovacího motoru pohánějícího přímo alternátor vyrábějící elektrickou energii a výměníku pro využití odpadního tepla z motoru. Odpadní teplo je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni cca 80 – 90°C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400 – 500°C. Výměníky jsou z hlediska průtoků teplonosného média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90/70°C, méně již do systému 110/85°C, resp. 130/90°C.

Blokové uspořádání s protihlukovou kapotou má následující výhody:

- minimální hlučnost - umožňuje umístit jednotku prakticky kamkoliv
- nízká cena instalace
- potrubní, plynová i kabelová vedení jsou ukryta před náhodným a nechtěným porušením

Kogenerační jednotka se do tepelného systému zařazuje v zásadě jako plynový kotel, většinou pak paralelně s kotli do společného rozdělovače a sběrače nebo na předehřev vody do kotlů, je-li výkon jednotky podstatně nižší než výkon kotlů. Je však možno provést jakékoli jiné tepelné zapojení např. akumulací za předpokladu respektování podmínek uvedených v technické specifikaci. Oproti plynovým kotlům je třeba počítat s vyvedením elektrické energie z rozváděče kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotka je již v základním provedení vybavena účinným tlumičem hluku. Spalinovod je odvodňován přímo v jednotce.

Kogenerační jednotka pracující paralelně se sítí je vybavena elektrickým startovacím zařízením. Toto zařízení odebírá energii pro start přímo ze sítě, takže nejsou zapotřebí startovací akumulátory, čímž odpadá jejich údržba, zvyšuje se spolehlivost startu, a tím i celé kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotka s plynovým motorem je také vybavena zařízením pro automatické doplňování oleje za provozu, a to ze zásobní nádrže oleje**.** To znamená, že u žádné instalace není třeba budovat olejové hospodářství, neboť potřebné množství mazacího oleje je zajištěno přímo ze zásobní nádrže oleje uvnitř kogenerační jednotky.

Jednotka je tepelně propojena již z výrobního závodu a propojení na místě je omezeno pouze na napojení k přírubám kogenerační jednotky. Pracovníci firmy na místě jednotku oživí a uvedou do zkušebního provozu.

Porovnání některých parametrů KVET je uveden v další tabulce :

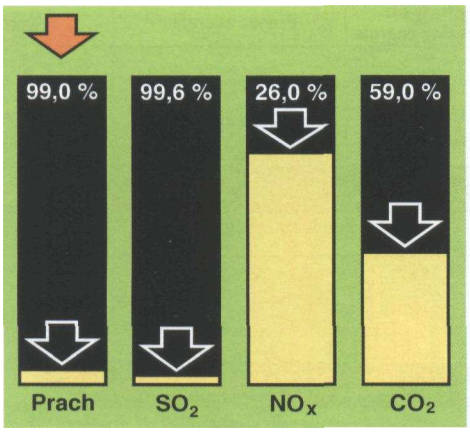
Tab.34 Základní parametry jednotlivých typů kombinované výroby tepla a elektřiny

Typ teplárny	el.energie / užit.teplo	účinnost elektrická	účinnost tepelná	účinnost celková	el.výkon teplárny
	[-]	[%]	[%]	[0]	[MW]
S parním strojem	0,16 – 0,25	8 - 12	60 – 67	68 - 87	0,1 – 2,0
S parními turbínami	0,24 – 0,34	12 – 15	6 – 8	72 – 80	0,15 – 100
Se spal. motory	0,7 – 1,0	32 – 41	44 – 53	82 – 90	0,1 – 10
Se spal. turbínami	0,5 – 0,8	23 – 38	36 – 50	68 – 85	2 – 100
Paroplynové	0,5 – 1,5	35 – 44	32 - 50	78 – 87	5 – 200 a více

Emise

Pístové motory, které spalují emisní limity všech škodlivin ve spalinách jsou odvozeny od stávajících zážehových (benzínových) motorů, nebo vznětových (dieselových) motorů.

Kogenerační jednotky se vyznačují nízkými emisemi škodlivin. Při použití zemního plynu se ve srovnání s uhlím se na stejnou jednotku vyrobené energie snižuje obsah oxidu uhličitého CO_2 o více něž polovinu. Rovněž se snižuje obsah oxidů dusíku označovaných jako NO_X. Tyto plyny mají nepříznivý vliv na životní prostředí a tvorbu skleníkového efektu, který působí zhoršování klimatických poměrů na zeměkouli. Obsah emitovaného prachu a škodlivého oxidu siřičitého je při použití zemního plynu prakticky zanedbatelný.



Obr. 14 Snížení emisí využitím kogeneračních jednotek ve srovnání s elektrárenskou výrobou el.proudu a tepla z uhlí [23]

Návrh zařízení KVET

Velikost kogenerační jednotky by měla odpovídat danému odběru tepla. Vyrobenou el.energii může provozovatel spotřebovat (při výhodném poměru nákupní a výkupní ceny elektřiny) nebo prodat do sítě. Vzhledem k nesrovnatelnému odběru malých provozovatelů bude pravděpodobně výhodnější prodávat el.energii do sítě.

U velkých subjektů je nutné propočítat ekonomii provozu, která závisí na aktuálních cenách a výkupních podmínkách.

Vzhledem k tomu, že o celkové ekonomii může rozhodovat i zisk z výroby tepla, je nutno v tomto případě navrhnout velikost jednotky tak, aby bylo teplo využito po maximální část roku. Denní výkyvy odběru tepla je možno kompenzovat tepelnými akumulátory nebo využitím stávající teplovodní sítě s několika odběrateli tepla s různým odběrovým diagramem (např. obytné budovy, úřady, komunální objekty a školy, hotely, penziony, obchodní domy, aquaparky, nemocnice). Při návrhu se jedná vždy o složitý proces vzájemného vyvážení protichůdných a souběžných vlivů, navíc silně ovlivněných konkrétními místními podmínkami. V zásadě je výhodné pokrýt základní potřebu tepla pomocí KVET a pro krytí špiček volit plynový kotel nebo jiný zdroj tepla.

Z hlediska návratnosti investice je zapotřebí, aby jednotky pracovaly alespoň 5 000 hod. ročně. V některých výhodných aplikacích je možno využít i trigeneraci s její potřebou tepla právě v letním období.

Výhodami KVET je vysoká konverze paliva na energii (85 – 90%). Snížení spotřeby zemního plynu oproti oddělené výrobě elektrické energie a tepla činí 36 – 40%. Dále dochází ke snížení emisí, přenosových ztrát.

Nevýhodou může být vyšší investiční náklad, což závisí na konkrétních cenách elektřiny a tepla. Při vhodných sazbách investiční náklad nemusí být zásadní, nýbrž celkové zisky, a tím i návratnost.

Investiční náklady

Zásadně platí, že vždy je nutno propočítat každou aplikaci KVET podle konkrétních místních podmínek. Pomocí při předběžném rozhodování může být rozsah celkových nákladů. Jako vodítko může sloužit měrná investiční náročnost instalovaného elektrického výkonu. Tato hodnota se pohybuje v rozsahu výkonu 100 – 500 kW_{el} v rozmezí 18 – 40 000,-Kč/kW_{el}. Obecně klesá

s rostoucím instalovaným výkonem. V ceně nejsou zahrnuty náklady na stavební část a vyvedení el. a tepelného výkonu.

Provozní náklady

Často se vyjadřují v měrných nákladech na vyrobenou kWh elektrické energie, což je snadno srovnatelná hodnota pro různá řešení. Máme-li na mysli pouze běžné náklady na údržbu, servis, náhradní díly a mazací olej, pak se měrný náklad může pohybovat v rozmezí 0,18 – 0,25 Kč/kW_{el}.

Všechny tyto údaje závisí na konkrétní servisní smlouvě buď s dodavatelem jednotek nebo jeho zastupující organizací. Kromě provozní el.účinnosti nejvíce ekonomie provozu závisí na servisních nákladech. Vyplatí se dobře sjednaná smlouva.

Bioplyn s kombinovanou výrobou el. a tepla

Výroba el.energie z bioplynu přijetím zákona 180/2005 Sb. o podpoře výroby el. z obnovitelných zdrojů energie má výrazně vzrůstající průběh. Smyslem zákona je ochrana životního prostředí a ochrana klimatu, zvýšení podílu OZE, a tím přispění k trvale udržitelnému rozvoji společnosti. Ve smyslu zákona 180/2005 Sb. je významné využití plynných paliv získaných konverzí biomasy.

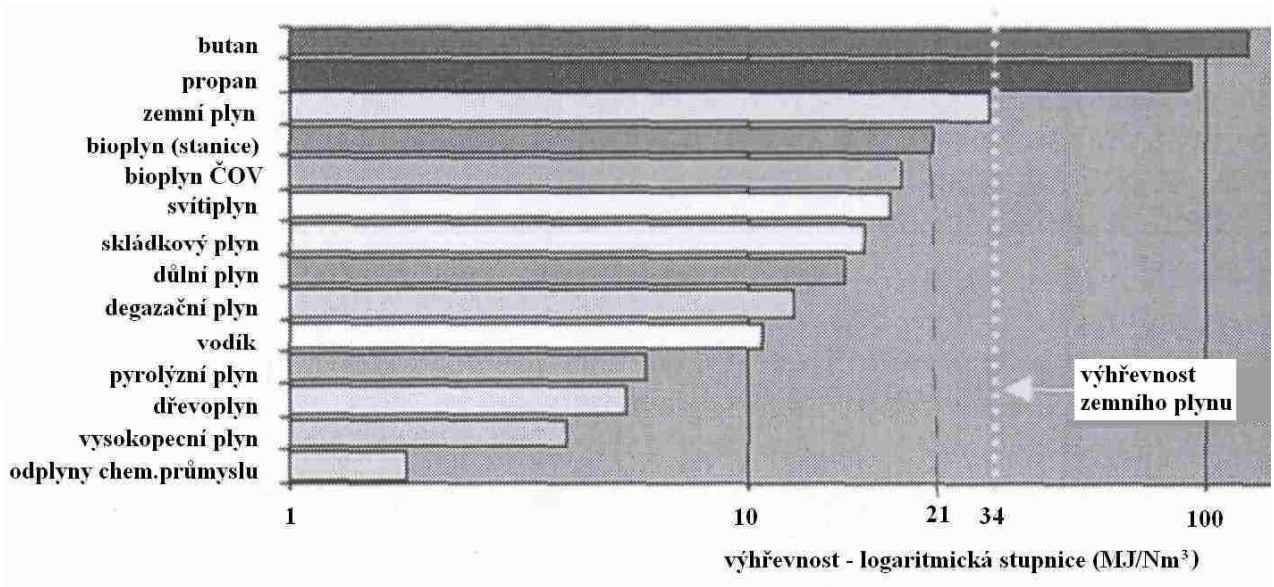
Na prvý pohled se může zdát, že bioplyn nemůže mít využití v budovách, neboť bioplynové stanice jsou často situovány u zemědělského provozu nebo menších sídelních útvarů. Problémem většiny těchto stanic je velmi malé využití tepla v letní polovině roku a v topném období je to náklady v plném rozsahu výkonu.

Vzhledem k tomu, že přivádět plyn je výrazně levnější než tepelnou energii teplovodem, bude lepší umístit kogenerační jednotku v obci, kde je více větších budov, ať již obytných nebo komunálních a vyrábět teplo v místě spotřeby a el.energii prodávat do sítě. V těchto lokalitách je často lepší možnost připojení na síť.

Tyto okolnosti umožní více aplikací využití bioplynu pro vytápění budov a tím současně sníží spotřebu primárních fosilních zdrojů a sníží emise skleníkových plynů. V neposlední řadě se zvýší ekonomie provozu bioplynových stanic a také klesnou náklady na vytápění připojených objektů, neboť teplo z KVET je levnější.

Pro KVET je možno mimo bioplyn použít i další plyny, které jsou srovnány v dalším grafu podle výhřevnosti.

Jednotlivé zdroje se většinou pohybují ve značném rozsahu, podle technologie přípravy plynu a chemického složení. S vyšším počtem uhlíkových atomů v molekule se však výhřevnost prudce zvyšuje. Za standard se považuje výhřevnost metanu – tedy zemního plynu s výhřevností okolo 34 MJ/Nm^3 anebo přibližně 9,4 kWh/Nm^3. Používání kapalných plynů propanu a butanu není pro kogeneraci typické, i když instalace jednotky na propan je na našem území známa.



Obr. 15 Výhřevnost zvláštních plynů [25]

Bioplyn zaujímá ve spektru hořlavých plynů zvláštní místo. Částečně kvůli četnosti výskytu, dílem kvůli přijatelné výhřevnosti a ostatním fyzikální parametrům.

Bioplyny jsou směsí metanu a kysličníku uhličitého. Obvykle to bývá 55 – 65% metanu CH_4, 30 – 40% kysličníku uhličitého CO_2 a 0,1 – 1 % dalších plynů jako je vodík H_2 a sirovodík H_2S. Jde o produkt fermentace organických substrátů za anaerobních podmínek, tedy bez přístupu vzduchu. Jeho výhřevnost se pohybuje okolo 18 – 22 MJ/Nm^3. Může být proto náhradou za fosilní paliva. Navíc jde o palivo charakterizované „CO_2 – neutralitou“, množství oxidu uhelnatého pohlceného při růstu organické hmoty se rovná množství, které je emitováno ve spalinách.

Zdrojem bioplynu jej široké spektrum organických materiálů, které se hodí pro anaerobní kvašení. Například – dobytčí kejda nebo slamnatý hnůj, biologicky rozložitelný odpad ze separovaného komunálního sběru, kaly ze splaškových vod, použité organické tuky, biologické odpady z potravinářských výroben jako jsou pivovary, lihovary, výroba vína, ale i cukrovary a papírny. Pro anaerobní digesci je použitelná i tráva. Naopak – lignin obsažený v dřevní hmotě není vhodnou potravou pro metanogenní bakterie. Dřevo se tedy pro „mokré procesy“ anaerobního kvašení nepoužívá. Hořlavé plyny se z něj lépe získávají procesem rozkladu termického.

Bioplyn vzniká jako produkt metabolismu metanogenních bakterií. Proces může probíhat ve speciálních reaktorech bioplynových stanic, ve vyhnívacích nádržích čistíren vod, nebo přímo v tělesech skládek komunálního odpadu. Podmínkou průběhu procesu je nepřítomnost kyslíku, konstantní teplota a hodnota pH 6,5 až 7,5. Rozklad může probíhat při třech rozdílných teplotách – 15°C (chladnomilné organismy), 35°C (mezofilní organismy) a 55°C (termofilní organismy).

Motivací pro využití bioplynu k výrobě elektrické energie je přijetí zákona 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. Na paragraf 6 tohoto zákona navazuje Cenové rozhodnutí ERÚ č. 10/2005 ze dne 18. listopadu 2005, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných zdrojů.

Jelikož se pro výše uvedené účely předpokládají el.výkony 150 – 400 kW, je možno použít jak klasické plynové motory (Otto) tak upravené dieselové motory se zapalovacím paprskem, pro výkony od cca 300 kW_{el} pak již lepší plynové motory. Posouzení obou soustrojí s oběma typy motorů je v následující tabulce 35. Hodnoty investičních nákladů jsou orientační, záleží na výrobcích a sjednaných dodavatelských podmínkách. Taktéž účinnosti se mohou lišit.

Tab. 35 Srovnání plynových motorů a motorů se zapalovacím paprskem při KVET

Parametr	Motor se zapal.paprskem (vznětový)	Plynový motor (Otto) zážehový
Investiční náklad	- 100 kW_{el}. : 21 000,-Kč/kW_{el} - 180 kW_{el}. : 18 200,-Kč/kW_{el} - 220 kW_{el}. : 17 400,-Kč/kW_{el} - 250 kW_{el}. : 16 200,-Kč/kW_{el}	- 100 kW el. : 26 600,-Kč/kW_{el} - 180 kW el. : 22 900,-Kč/kW_{el} - 220 kW el. : 19 600,-Kč/kW_{el} - 330 kW el. : 18 200,-Kč/kW_{el} - 500 kW el. : 16 800,-Kč/kW_{el}
Provozní hodiny do GO	- 30 000 – 35 000 hod.	- ca. 45 000 – 55 000 hod.
El. účinnost	- 250 kW ca 40 – 42 %	- 100 kW ca. 33 – 36 % - 300 kW ca. 37 % - 500 kW 37 – 39 %
Rozsah výkonu	< 280 kW elektr.	> 200 kW elektr.

Celkové investiční náklady i provozní náklady jsou podobné jako při použití zemního plynu.

13 VLIV ÚSPOR TEPLA NA OZE

V současné době dochází k hromadnému snižování energetické náročnosti budov především zateplováním obvodových konstrukcí a výměnou oken. Když se hovoří o přínosu uvedených opatření, většinou se zdůrazňuje především snížení provozních nákladů. O dopadu těchto zásahů na zdroje a distribuční soustavy vč. předávacích stanic se většinou nemluví. V systémech centrálního zásobení teplem (CZT) je snižování energetické náročnosti budov ve skutečnosti z pohledu provozovatelů většinou nežádoucí – jednak snižuje zisky dodavatelů tepla, jednak zhoršuje celkovou účinnost výroby, distribuce a spotřeby tepla, zejména pokud jsou současné zdroje a rozvody již předimenzované. Jiná situace je u decentralizovaných systémů a zejména u zdrojů, které se budují nebo rekonstruují současně s realizací opatření vedoucích ke snížení tepelných ztrát napojených objektů.

Snížení hodinové a roční potřeby tepla u objektů po zateplení je velmi významné zejména při používání obnovitelných zdrojů. Hlavně snižuje nároky na velikost, instalovaný výkon a investiční náklady nových zdrojů tepla – což je poměrně významný přínos zlepšující celkové investiční a ekonomické ukazatele zateplování domů. V důsledku snížení výkonu snižuje také roční množství spotřebovaného paliva – vzhledem k extenzivnímu charakteru je množství obnovitelných zdrojů v některých případech omezené (např.biomasa).

Přínosy úspor tepla byly vyhodnoceny na několika konkrétních objektech (dle EA). Vzhledem k rozsahu publikace a velké podrobnosti výsledků je dále uveden pouze jeden typický příklad bytového domu s topným příkonem 174 kW před zateplením a 80 kW po zateplení, viz tab.č 36. Další ukazatele včetně cenových jsou uvedeny v kap.10.

Tab č.36 - Bytový dům z roku 1958 (soustava G-57), 33 bytů - s vlastní kotelnou pro vytápění a ohřev TV – zateplení s rekonstrukcí zdroje tepla - bez změny paliva

	Původní	Po zateplení
Tepelná ztráta (kW)	173,8	80,3
Roční potřeba tepla – vytápění (GJ/rok)	967	465
Roční potřeba tepla – ohřev TV (GJ/rok)	279	279
Předpokládané palivo	Pelety	
Topný výkon zdroje tepla (kW)	210	120
Max. hodinová potřeba paliva (kg/h)	48	27,5
Prům. roční potřeba paliva (t/rok)	79	47
Předpokládaná cena tepla (Kč/GJ)	330*	
Roční provozní náklady (tis. Kč/rok)	411,2	245,5
Náklady na rekonstrukci zdroje tepla (tis. Kč)	980	677
Ekonomické ukazatele		
Investiční náklady na zateplení (tis. Kč)		2 693
Úspora provozních nákladů (tis. Kč/rok)		165,7
Prostá návratnost (pouze zateplení)		16,3
Prostá návratnost (zateplení + rekonstrukce zdroje tepla)		**14,4**

* Jedná se o cenu tepla vč.ostatních nákladů, tj. obsluhy (v souladu s Vyhl. 91/93 Sb.), náklady na pohony, servis, údržbu, kominické práce, atd.

Z uvedeného příkladu je zřejmé, že vlivem zateplení se současnou rekonstrukcí zdroje tepla dojde ke snížení provozních nákladů, instalovaného výkonu, ale také se zkrátí prostá návratnost celé investice (asi o 2 roky, což je více než 10%). Dojde také ke snížení množství spotřebovaného paliva, celkové množství dostupného paliva v lokalitě tak vystačí pro zásobení teplem většího počtu objektů. Podíl obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě tepla se může zejména v decentralizovaných systémech zásobení teplem zvyšovat právě v souvislosti se zateplením napojených domů.

Ekonomicky ještě zajímavější je, pokud v rámci revitalizace a zateplení domu dojde také k rekonstrukci zdroje tepla se změnou paliva (např. ze zemního plynu na pelety).:

Tab č.37 - Bytový dům z roku 1958 (soustava G-57), 33 bytů - s vlastní kotelnou pro vytápění a ohřev TV – zateplení s rekonstrukcí zdroje tepla - se změnou paliva

	Původní	Po zateplení
Tepelná ztráta (kW)	173,8	80,3
Roční potřeba tepla – vytápění (GJ/rok)	967	465
Roční potřeba tepla – ohřev TV (GJ/rok)	279	279
Předpokládané palivo	Zemní plyn	Pelety
Topný výkon zdroje tepla (kW)	200	120
Max. hodinová potřeba paliva (m3/h, kg/h)	25	27,5
Prům. roční potřeba paliva (tis.m3/rok, t/rok)	41	47
Předpokládaná cena tepla (Kč/GJ)	445	330
Roční provozní náklady (tis. Kč/rok)	554,5	245,5
Náklady na rekonstrukci zdroje tepla (tis. Kč)	640	677
Ekonomické ukazatele		
Investiční náklady na zateplení (tis. Kč)		2 693
Úspora provozních nákladů (tis. Kč/rok)		309
Prostá návratnost při změně paliva		**8,8**

Je zřejmé, že návratnost revitalizace panelových domů (ale i jiných objektů) lze výrazně zkrátit současnou rekonstrukcí zdrojů tepla s přechodem na obnovitelné zdroje energie. Je to způsobeno dnes již velkým rozdílem cen primárních paliv. Cena tepla z pelet je nižší o cca 30-37% vůči teplu ze zemního plynu (malé zdroje).

Porovnat lze investiční náklady na zateplení a obnovitelný zdroj tepla – kotelnu na pelety. Je-li náklad na zateplení vztažen na ušetřený topný výkon zdroje (viz uvedený příklad) vychází tyto měrné náklady :

zateplení objektu – snížení výkonu 93,5 kW – 28,80 Kč/W
zdroj tepla – pelety – nahrazení výk. 93,5 kW – 4,30 – 5,70 Kč/W

Snížení investice topného zdroje zateplením není podstatné. Výrazně se však projeví úspory tepla při snížení měrných nákladů na „vyrobený“ GJ tepelné energie.

ušetřené teplo zateplením - 153,30 Kč/GJ
vyrobené teplo z pelet - 230 – 250 Kč/GJ
vyrobené teplo ze zemního plynu - 320 – 370 Kč/GJ

Z tohoto pohledu se ukazuje, že nevyrobený GJ i při nákladech na zateplení je stále levnější než vyrobené teplo v lokální kotelně.

Vezmeme-li cíle ČR vyplývající ze závazků vůči EU, tj. snížení emisí a náhrada fosilních paliv obnovitelnými energiemi, jsou obě opatření ve vzájemné kombinaci velmi účinné. Náhradou zemního plynu dochází k výraznému snížení provozních nákladů.

14 ZVÝŠENÍ PODÍLU OZE V BUDOVÁCH A DECENTRAL.SYST.

Energetika je věcí všech, protože energie se týká všech. Energetický systém je existenční podmínkou veškerých forem života, od buněčných organismů až po ekosystémy a lidskou společnost. Bez energie není možná vůbec žádná činnost. Toky energie jsou v přírodě vyváženým způsobem skloubeny se spotřebou a představují rovnovážný energetický systém s fluktuacemi. Zemská biosféra vznikala jako produkt této rovnováhy ve veliké většině primárně z aktuální sluneční energie. Celá bohatost tvarů, forem, barev a chování vznikla především z energie Slunce.

S ubývajícími zásobami fosilních paliv bude nutno snižovat závislost civilizace na nich a společně se snižováním spotřeby postupně přecházet na jediný trvalý zdroj energie. V pozemských podmínkách se projevuje v různých formách obnovitelných zdrojů energie. Částečně jsou již využívány a smyslem této kapitoly je ukázat, jak je možné zvýšit jejich podíl na celkové energetické spotřebě.

V ČR vstoupil v platnost zákon o podpoře obnovitelné energie (180/2005 Sb.). Přispěla k tomu směrnice EU (2001/77/ES), která byla do zákona implantována. Zákon sám nezaručí nárůst OZE, přispět musí všichni, jichž se to dotýká.

Podnětná společenská podpora může zvýšit společenské podvědomí o obnovitelných energiích, a tak pomoci k výraznějšímu nárůstu, jako např.v Německu u bioplynu, fotovoltaiky, solární termie a dalších OZE. Do medií je nutno dostávat články, které pravdivě informují o přínosech OZE, jejich výhodách a úspěšných aplikacích.

Vědeckovýzkumní pracovníci zatím věnují jen okrajový zájem o rozvoj a aplikaci OZE. Významné by byly zvýšené prostředky na výzkum a vývoj, event. vytvoření pracovišť tam, kde zcela chybí.

Výhodami při využívání OZE jsou :

- zlepšení ŽP (snížení emisí skleníkových plynů, snížení emisí škodlivin, snížení zátěže zdraví lidí, snížení zátěže krajiny…)
- snížení dovozové závislosti na fosilních zdrojích
- možnost postupného snižování zemědělských dotací na úkor zvyšujících se příjmů z pěstování surovin pro energetiku a průmysl
- tvorba lokálně fixovaných a v budoucnu nezrušitelných pracovních míst (to je podceňovaný, ale zásadní přínos)
- orientace na perspektivní a hi-tech oblast (rozšíření kapacit)
- mírový potenciál obnovitelné energetiky
- energetická bezpečnost v budoucnu

Co udělat pro zlepšení stavu v ČR :

<u>Politické iniciativy</u>

- prosadit průlomové programy – např. 1 000 solár.střech, 100 bioplyn.stanic, 500 kotelen na biomasu apod.
- vládní iniciativa

<u>Legislativa</u>

- doplnit stávající zákon o potřebné vyhlášky, odstranit byrokratické bariéry
- novelizovat stavební zákon ve prospěch OZ, uplatňovat povinnost využívání daného podílu obnovitelně získávaného tepla ve všech novostavbách
- integrovat využívání solárně-technické energie do sanačních programů pro starou zástavbu

- preferovat systémové dotace při splnění explicitně stanovených kritérií před výběrovými řízeními

Finanční aktivity
- alokovat část prostředků pro oblasti výzkumu OZ
- vytvořit či podpořit vznik fondu / banky pro udělování malých půjček pro OZ a solární sanace staveb například formou energetického kontraktingu/
- zjednodušení procesu získání státní podpory a bankovní půjčky

Stavební iniciativy
- oficiální instalace, vládní budovy, krajské úřady a instituce, veřejné stavby – jako energoautarkní
- usilovat o demonstrační projekty na krajské, okresní i lokální úrovni

Výuka a vzdělání
- vkomponovat sluneční energii do učebních plánů pro základní školy – informovat mladou generaci je vždy důležité – v tomto případě je to zcela zásadní. Žáci a studenti budou za pár let těmi, kteří budou muset provést proměnu energetického systému
- podpořit vznik vědeckovýzkumného pracoviště OZE
- připojit se ke snahám o založení evropské sluneční university

Hlavním nástrojem pro zavádění OZE, a tím i zvyšování podílu budou energetičtí auditoři, projektanti a investoři, kteří musí plnit požadavky směrnice Evropské rady a parlamentu o energetické náročnosti budov 2002/91/ES, která vstupuje pro členské státy ES v platnost ke dni 4.1.2006. Rámcem implementace směrnice je novela zákona 406/2000 Sb., která vyšla ve Sbírce zákonů pod č.177/2006 Sb. V § 6 o účinnosti užití energie obsahuje článek 5, kde je požadováno :

Pro **nové budovy** s celkovou užitnou podlahovou plochou větší než 1 000m^2 povinnost, aby před zahájením výstavby byla posouzena a vzata v úvahu technická, environmentální a ekonomická proveditelnost alternativních systémů energie, jako jsou místní systémy dodávky energie využívající obnovitelné zdroje energie, kombinovaná výroba tepla a elektřiny, dálkové nebo blokové vytápění nebo chlazení.

Pozitivně je možné hodnotit opatření směrnice zejména z toho důvodu, že upozorňuje na nutnost vnímání budovy a možnost využití alternativních systémů energie jako zpětně se ovlivňující a v řadě případů i podporující vazby. Je přece nelogické, aby u budov s vysokou spotřebou energie byly její nadměrné dodávky zajišťovány z alternativních zdrojů energie, tedy vynakládané prostředky na zajištění zbytečně velkých výkonů zařízení, když je nejprve možné vhodně omezit nutnou spotřebu opatřeními ke snížení energetické náročnosti budovy, jako např. zateplením, tepelně kvalitnějšími okny a lépe fungující otopnou soustavou. Z toho vyplývají následující možnosti pro využití OZE ve stávajících objektech :

- zdroji tepla jsou již za současného stavu předimenzované a morálně zastaralé kotelny umístěné často uprostřed husté zástavby, jejich ekologické parametry jsou dnes již také nevyhovující;
- zásobené objekty jsou zateplovány, což snižuje jejich energetickou náročnost (množství odebíraného tepla se snižuje a tím se snižuje již tak dosti nízká účinnost výroby a distribuce tepla ve zdroji);
- v lokalitě jsou k dispozici obnovitelné zdroje v dostatečném množství pro sníženou energetickou náročnost objektů.

Seznam pramenů

1. J.Cihelka, Solární tepelná technika, SNTL 1994
2. S.Karamanalis, Sluneční energie, MAC 1996
3. ČHMU Hr.Králové, Přehledový materiál, 1999
4. Ladener, Späte, Solární zařízení, Grada 2003
5. O.Humm, Nízkoenergetické domy, Grada 1999
6. Topenářství 6/2003, str.46 – 55
7. Tabulky pro stanovení hydraul.ztrát kapaliny Solaren, Tech.vydavatelství Praha, spol.s.r.o., 2004
8. Solární klimatizace – DI m.Neuhäuser, překl. Ing.Stráský
9. Facade integrated solar collectors. Proceedings of Solar World Congress, ISFH Germeny, Jerusalem 1999. Rockendorf G., Jansen S.
10. Inclination dependency of flat plate collector. Proceedings of Solar World Congress, ISFH Germany, Jerusalem 1999. Bartelsen B., Kiermasch M., Rockendorf G.
11. Integration of solar systems into building envelopes, 2003, P. Kopecký
12. Velkoplošné solární aplikace v ČR, 2004, Kramoliš
13. Akumulace solární energie – tzb-info, Kramoliš
14. Energetická certifikace budov, I.Plocková 2005, AE 6/2005
15. Dost 07.05.01.002 Technologická zařízení staveb – energetika ČKAIT, 1998
16. Zemědělská techniky a biomasa, VUZT Praha, Sladký, Kára, 2003
17. Zdroje energie pro vytápění malých a středních objektů, VŠB – TU Ostrava, 2006
18. Lesní ekosystémy 1/2002, Alternativní energie
19. Klobušník, Pelety – palivo budoucnosti, Harmonie, 2003
20. Praktické využití biomasy ve výrobě tepla a elektřiny, ČEA 1997
21. Energetické využívání dřevních odpadů, ČEA 1998
22. Palivové články, Gas info 2004
23. Palivové články – nový energetický zdroj, V.Civín, AE 4/2003
24. Palivové články, ústav jaderného výzkumu ŘEŽ a.s., Z.Porš, 2002
25. Kogenerace – použití zvláštních plynů, OZE a ekonomické motivace, TZB-info, Z.Tintěra, 2006
26. Kombinovaná výroba elektřiny a tepla, EkoWATT, F.Hrdlička, E.Přibyl, 2000
27. Posuzování životního cyklu, Metoda LCA, 2003 MŽP

Tiráž :

VYUŽITÍ OZE PŘI ENERGETICKÉM ZÁSOBOVÁNÍ BUDOV

Zpracoval : Petr KRAMOLIŠ, projekce OZE

Doc.ing.Mojmír VRTEK, Ph.D., VŠB-TU Ostrava

Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu pro podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2006 – část A.

PŘÍLOHA 1

Měsíční sumy globálního záření kWh/m2 ze stanice Ostrava - Poruba v letech 1992 - 2001 tab.5

Rok/měs.	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem
1993	31	45	89	132	156	147	155	148	105	53	22	18	1101
1994	26	38	70	115	146	156	211	152	81	58	27	18	1097
1995	25	39	73	106	150	155	201	139	80	68	25	14	1075
1996	21	49	74	123	125	165	162	128	55	49	29	19	1000
1997	26	51	87	116	143	167	134	146	105	61	24	17	1076
1998	26	41	77	116	157	149	148	155	90	43	26	20	1048
1999	28	41	75	105	174	126	155	138	104	48	24	19	1038
2000	25	40	64	118	168	172	93	145	88	53	31	20	1016
2001	26	43	57	96	174	135	137	146	61	58	28	17	978
2002	26	41	85	119	168	164	174	139	93	48	24	17	1100
2003	23	48	88	125	166	197	148	171	109	54	30	23	1182
2004	29	42	77	125	151	154	161	149	109	64	22	19	1101
průměr	26	43	76	116	144	157	157	146	90	55	26	19	1068

Doba slunečního svitu v Ostravě - Porubě tab.6

Rok/měs.	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	celkem
1995	54,1	80,2	109,5	153,1	207,9	180,2	316,5	221,8	119,2	150,3	47,4	23,2	1663,4
1996	31	96,3	98,1	193,4	158,4	237,5	229,4	204,4	65,6	98,6	69,4	63,1	1545,2
1997	55	122,1	160,8	158,2	195,9	246,1	189,6	261,6	204,4	134,9	57,4	21,1	1807,1
1998	75,2	92,4	128,7	170,8	231	211,9	205,3	268,8	129,4	77,6	49,9	51,4	1692,4
1999	65,5	60,8	124	170,8	290,9	162,3	256,3	227	205,6	89	53,6	51,2	1757
2000	54,9	71,8	90,1	203,9	286	283,3	135,7	254,2	140,1	106,2	82,5	38,9	1747,6
2001	52,1	85,9	60,7	137,2	288,7	170,7	187,8	248,3	68,9	109,6	59,8	21,8	1491,5
2002	45,3	106,4	194,6	241,6	310	290,3	314,9	279,4	198,4	103,3	57,2	20,7	2162,1
2003	35,3	115,8	195,6	258,3	301,9	350,8	276	340,5	212	101,6	76,1	82,6	2346,5
2004	46,5	66,2	105,6	184,6	178,3	174,7	213,9	228,5	196,1	149,6	60	35	1639
průměr	51,49	89,79	126,77	187,19	244,9	230,78	232,54	253,45	153,97	112,07	61,33	40,9	1785,18

PŘÍLOHA 2

Tabulka potřeb a cen paliv a energií na vytápění (duben 2006) (autor tabulky: L. Klobušník, ECČB, www.eccb.cz)

Druh paliva	Měrná jednotka	Výhřevn. paliva	Cena paliva	Cena využitelné energie		Účinnost zdroje	0statní náklady	Roční potřeba paliva, cena potřebné energie včetně ostatních nákladů			
	m.j	MJ / mj	Kč / mj	Kč / GJ	Kč / kWh	%	Kč / rok	Kč / GJ	Kč / kWh	Spotřeba paliva za rok	Kč / rok
Hnědé uhlí	kg	18	1,61	89,4	0,32	65	900	151,9	0,55	5 370	9 546
Černé uhlí	kg	22,7	2,54	111,9	0,40	67	900	181,3	0,65	4 131	11 393
Koks	kg	26,3	4,05	154,0	0,55	70	900	234,3	0,84	3 413	14 722
Brikety z HU	kg	23	2,19	95,2	0,34	67	900	156,4	0,56	4 077	9 829
Dřevo kusové	kg	14,6	0,95	65,1	0,23	70	225	96,5	0,35	6 148	6 065
Dřevěné brikety	kg	18	3	166,7	0,60	75	225	225,8	0,81	4 654	14 188
Dřevěné pelety	kg	18,5	3,25	175,7	0,63	80	225	223,2	0,80	4 245	14 022
Zemní plyn	m^3	33,4	10,458	313,1	1,13	80	1 205	410,6	1,48	2 351	25 797
Zemní plyn-kond.kotel	kWh	3,6	0,996	276,7	1,00	80	1 205	365,0	1,31	2 078	22 937
Propan	kg	46,4	21	452,6	1,63	80	1 000	581,6	2,09	1 693	36 546
Topný olej	kg	42	14,0	333,3	1,2	80	800	429,4	1,55	1 870	26 980
Elektřina akum.	kWh	3,6	1,27	352,8	1,27	96	5 529	455,5	1,64	18 180	28 618
Elektřina přímot.	kWh	3,6	1,61	447,2	1,61	98	3 417	510,7	1,84	17 809	32 090
Tepelné čerpadlo	kWh	3,6	1,59	441,7	1,59	300	1 177	165,95	0,60	5 818	10 427
Tepelné čerpadlo (od 04/05)	kWh	3,6	1,59	441,7	1,59	300	3 417	201,6	0,73	5 818	12 667
CZT (teplárna)	kWh	3,6	1,19	330,6	1,19	95	0	348,0	1,25	18 372	21 862

Poznámka: Zemní plyn je v této tabulce ponechán ve starých jednotkách m^3, aby si mohl uživatel odečíst z plynoměru svoji spotřebu a porovnat ji s tabulkou cen energií. (V současné době se u zemního plynu účtuje množství dodané energie v kWh.)