



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

SYSTÉMY SNIŽUJÍCÍ ENERGETICKOU ZÁVISLOST URČENÉ PRO RODINNÉ DOMY

ENERGY-REDUCING SYSTEMS DESIGNED FOR HOMES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Fortelný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Filip Toman, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Lukáš Fortelný**
Studijní program: Energetika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Filip Toman, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Systémy snižující energetickou závislost určené pro rodinné domy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Energetika a získávání energie představuje mezi jednu z největších hrozeb pro světové klima. Za nejproblémovější se pokládá spalování fosilních paliv, které znečišťuje vzduch, zvyšuje skleníkový efekt a přispívá ke globálním změnám klimatu. V dnešní době neustále se zvyšujících cen paliv a energií začínají být aktuální debaty na téma snížení energetické závislosti. Cílem práce bude popsat systémy určené pro rodinné domy snižující energetickou závislost na okolí.

Cíle bakalářské práce:

- Popsat systémy výroby případně akumulace energie určené pro rodinné domy.
- Na modelovém rodinném domě rozebrat potenciál jednotlivých systémů.

Seznam doporučené literatury:

POPARA, Nikola. Moderní technologie pro soběstačné domy. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2019.

BÉM, Jan. Využití obnovitelných zdrojů pro ohřev TUV a vytápění rodinného domu. 2000, 71 listů, 6 listů výkresů, 33 listů obrazových příloh.

CHADIM, Jakub. Fotovoltaické systémy pro rodinný dům. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2009, 42 stran + 1 CD-ROM.

URBAN, Erik. Analýza systémů TZB nízkoenergetického domu. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2022.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi využití alternativních zdrojů energie a jejich akumulace pro navýšení energetické nezávislosti rodinných domů. V teoretické části je popsána řada technologií, včetně fotovoltaických a fototermických systémů, větrných turbín, tepelných čerpadel, bateriových a tepelných uložitelů energie s důrazem na jejich principy, konstrukční provedení a faktory ovlivňující jejich výkon. Praktická část se zaměřuje na aplikaci vybraných systémů na modelový rodinný dům, kde jsou vyhodnocovány náklady, návratnost investic a případně energetický potenciál systémů. Závěrem jsou poté interpretovány návratnosti vycházející z praktické části společně s faktory, které je ovlivňují s ohledem na ekonomickou výhodnost a případný ekologický přínos.

Klíčová slova

Alternativní zdroje energie, akumulace, rodinné domy

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the possibilities of using alternative energy sources and their accumulation to increase the energy independence of family houses. The theoretical part describes a number of technologies, including photovoltaic and photothermal systems, wind turbines, heat pumps, battery and thermal energy storage, emphasizing their principles, design, and factors affecting their performance. The practical part focuses on the application of selected systems to a model family house, where the costs, return on investment, and the energy potential of the systems are evaluated. Finally, the returns based on the practical part are interpreted together with the factors that influence them, taking into account the economic viability and potential environmental benefits.

Key words

Alternative energy sources, accumulation, family houses

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FORTELNÝ, Lukáš. *Systémy snižující energetickou závislost určené pro rodinné domy*. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157078>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Filip Toman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Systémy snižující energetickou závislost určené pro rodinné domy** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Filipu Tomanovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracovávání závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD.....	10
1 Systémy pro výrobu, úsporu a akumulaci energie.....	11
1.1 Fotovoltaické systémy	11
1.1.1 Faktory ovlivňující výkon fotovoltaického panelu.....	12
1.2 Fototermické systémy.....	12
1.2.1 Princip.....	12
1.2.2 Konstrukční provedení	13
1.2.3 Porovnání fotovoltaických a fototermických systémů	14
1.3 Tepelná čerpadla.....	15
1.3.1 Princip.....	15
1.3.2 Typy tepelných čerpadel.....	16
1.4 Energeticky účinný design.....	17
1.4.1 Orientace domu.....	18
1.4.2 Izolace.....	19
1.4.3 Rekuperace	20
1.4.4 Zlepšení osvětlení	20
1.4.5 Inteligentní domovní ovládání.....	21
1.5 Větrné turbíny.....	21
1.6 Akumulace energie	22
1.6.1 Bateriová uložení	23
1.6.2 Tepelná uložení	24
2 Praktická část.....	25
2.1 Představení domu	25
2.2 Roční spotřeba energií	26
2.3 Fotovoltaická elektrárna	27
2.4 Větrná elektrárna	28
2.5 Tepelné čerpadlo.....	29
2.6 Krbová vložka	31
ZÁVĚR.....	32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	36
SEZNAM OBRÁZKŮ	37
SEZNAM TABULEK	38

ÚVOD

Tato bakalářská práce si klade za cíl poskytnout komplexní přehled o systémech určených ke snížení energetické závislosti rodinných domů, s důrazem na jejich potenciál zvýšit energetickou nezávislost a zároveň přispět ke snižování emisí CO₂. V současné době, kdy je kladen velký důraz na ekologickou udržitelnost a efektivní využívání zdrojů, se otázka využití alternativních zdrojů energie stává stále aktuálnější.

Práce je rozdělena na dvě hlavní části. V teoretické části jsou popsány technologie využívající obnovitelné zdroje energie, jako jsou fotovoltaické a fototermitické systémy, větrné turbíny, tepelná čerpadla a různé typy energetických uložišť. Každá technologie je rozebrána z hlediska jejího principu fungování, konstrukčního provedení a faktorů ovlivňujících její výkon. Tato část poskytuje ucelený pohled na možnosti, jež mají rodinné domy k dispozici pro zajištění své energetické soběstačnosti.

Praktická část práce se zaměřuje na aplikaci vybraných systémů na modelový rodinný dům. Na základě konkrétních parametrů domu a jeho energetické spotřeby jsou analyzovány náklady na instalaci těchto systémů, jejich návratnost a případný energetický potenciál. Výsledky této analýzy poskytují informace pro vlastníky rodinných domů, zvažujících investice do obnovitelných zdrojů energie.

Téma této práce bylo vybráno s ohledem na rostoucí zájem o snižování energetické závislosti domácností, což je nezbytné ke zvýšení jejich odolnosti vůči výkyvům cen energií a ke snížení jejich ekologické stopy. Výzkum v této oblasti má potenciál přinést praktické výsledky, které mohou přispět ke zvýšení energetické efektivity rodinných domů a k dosažení cílů udržitelného rozvoje.

Význam tohoto výzkumu spočívá nejen v ekonomických a ekologických přínosech, ale také v možnosti zlepšit kvalitu života obyvatel rodinných domů prostřednictvím moderních technologických řešení, která přispívají k jejich energetické nezávislosti a komfortu bydlení.

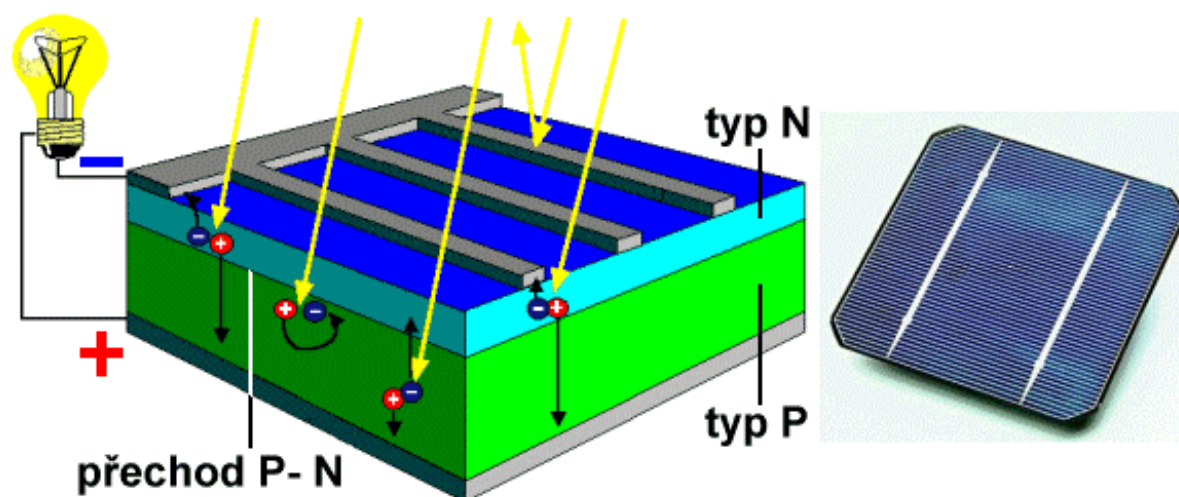
1 Systémy pro výrobu, úsporu a akumulaci energie

1.1 Fotovoltaické systémy

Slunce emituje energii ve formě elektromagnetických vln, které pokrývají široké spektrum od ultrafialových vln přes viditelné světlo až po infračervené vlny. Tyto fotonové vlny interagují s fotovoltaickými články, jejichž aktivní vrstva se skládá z polovodičového materiálu, typicky křemíku. Polovodiče se charakterizují specifickou vodivostí, která není tak vysoká jako u kovů, ale může být modulována aplikací dopování.

Ve struktuře solárního článku rozlišujeme dvě základní vrstvy polovodičového materiálu. N-vrstva obsahuje křemík dopovaný fosforem, který do křemíkové mřížky přidává dodatečné valenční elektrony, což zvyšuje koncentraci negativních nosičů náboje (elektronů) a vede k větší elektrické vodivosti. P-vrstva naopak obsahuje křemík dopovaný bórem, který oproti křemíku postrádá jeden valenční elektron, čímž vznikají „díry“, neboli pozitivní nosiče náboje. Na rozhraní těchto dvou vrstev, známém jako P-N přechod, dochází k difúzi elektronů z N-vrstvy do P-vrstvy, což vyplňuje díry a vytváří takzvanou hradlovou oblast, která je charakteristická absencí volných nosičů náboje. Když světelné fotonové vlny pronikají skrz N-vrstvu do této oblasti, energie fotonů je dostatečná k tomu, aby uvolnila elektrony z jejich pout v hradlové oblasti. Tyto uvolněné elektrony jsou poté elektrostaticky přitahovány zpět do N-vrstvy, zatímco díry jsou přitahovány do P-vrstvy.

Výsledkem je vznik elektrického pole a potenciálového rozdílu mezi P a N vrstvami. Při připojení externí zátěže do tohoto systému začnou elektrony prostřednictvím zátěže proudit z N-vrstvy do P-vrstvy, kde se rekombinují s dírami. Tento tok elektronů generuje elektrický proud, který je poté využíván k napájení elektrických zařízení. [1; 2]



Obr. 1: Princip fotovoltaického jevu [1]

1.1.1 Faktory ovlivňující výkon fotovoltaického panelu

Při výběru lokality pro instalaci fotovoltaických panelů a jejich údržbě je potřebné vyhnout se stínícím objektům jako jsou vysoké budovy a stromy, a zároveň pravidelně čistit panely od nečistot snižujících jejich výkon. Volba typu panelu je rovněž důležitá. Monokrystalické panely nabízejí účinnost okolo 17 % díky homogenní struktuře, která umožňuje efektivnější pohyb elektronů, zatímco polykrystalické panely s účinností kolem 14 % jsou energeticky méně náročné na výrobu. Optimální orientace panelů a zohlednění lokálních klimatických podmínek jsou zásadní pro dosažení maximálního energetického zisku ze systému. [3; 4]

Po výběru typu fotovoltaického panelu následuje optimalizace jeho sklonu a azimutu. Azimutem se rozumí horizontální orientace panelu, která je obvykle nastavována na 180° na severní polokouli, což znamená orientaci panelů směrem na jih. Sklon panelu se pak volí na základě cílené maximální výkonnosti během jednotlivých ročních období. Pro maximální výkon v zimních měsících, kdy je sluneční dráha nižší, je doporučený sklon okolo 75°. Naopak pro letní měsíce, kdy se slunce nachází výše, je vhodnější sklon kolem 40°. Pro celoroční optimální výkon se často volí univerzální sklon 45°. Kromě systémů statických existují také dynamické solární sledovací systémy, které adaptivně mění polohu panelů v závislosti na aktuální pozici slunce. Tato technologie umožňuje maximalizovat množství slunečních paprsků dopadajících na plochu solárních panelů po většinu dne. Avšak tyto systémy jsou technicky náročnější a mají vyšší riziko poruch z důvodu komplexnějších mechanických a elektronických komponent. [3; 4]

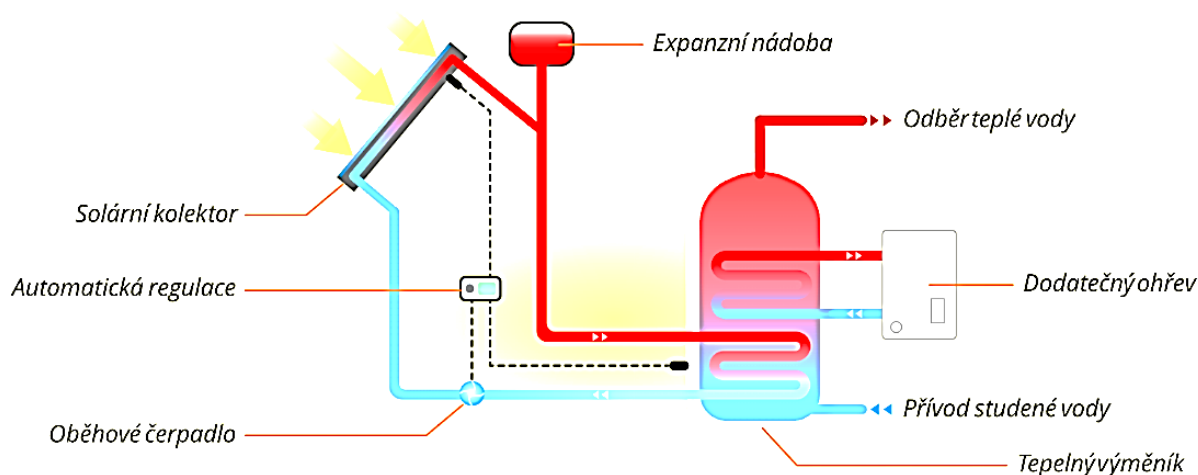
Při provozu fotovoltaické elektrárny je dalším faktorem ovlivňujícím jejich účinnost okolní teplota. Vzhledem k tomu, že fotovoltaické panely jsou založeny na polovodičích, jejich výkon se s rostoucí teplotou prostředí typicky snižuje. Aby bylo možné minimalizovat dopad teploty na výkon fotovoltaických panelů, zavádějí se různé metody chlazení. Jedním z běžných řešení je vytvoření vzduchové mezery mezi fotovoltaickými panely a střešní krytinou při instalaci na střechy. Tato mezera umožňuje přirozené proudění vzduchu, které odvádí teplo panelů a tím pomáhá udržet nižší pracovní teploty, což má pozitivní dopad na jejich výkon a efektivitu. [3]

1.2 Fototermické systémy

1.2.1 Princip

Solární kolektory mají povrch, který je schopen absorbovat sluneční záření, což bývají zpravidla černé nebo tmavé materiály, jenž mívají vysokou schopnost absorpce a antireflexe. Zevnitř kolektoru je povrch naopak reflexní, aby z kolektoru uniklo co nejméně záření, které nashromáždil. [5]

Po absorbování slunečního záření povrchem kolektoru se jeho energie mění na tepelnou, což vede ke zvýšení teploty uvnitř kolektoru. Uvnitř kolektoru se nachází potrubí ve tvaru meandru, kterým proudí tepelný nosič. Tímto nosičem může být voda nebo nemrznoucí směs. Podle teplotnosného média se systémy dělí na systémy s přímou cirkulací, čerpající vodu z domácnosti přes kolektory zpět do domu, a systémy s nepřímou cirkulací, jenž ohřívají teplotnosnou kapalinu, která své teplo následně předává vodě přes výměník. [5; 6; 7]



Obr. 2: Kombinovaný solární systém s doplňkovým ohřevem a nuceným oběhem [6]

1.2.2 Konstrukční provedení

V oblasti solárního vytápění pro rodinné domy se používají dva hlavní typy kolektorů – plochý vakuový kolektor a trubicový vakuový kolektor. Zásadním rozdílem mezi těmito typy je účinnost kolektoru, která je obzvláště závislá na rozdílu teplot mezi absorberem a okolním vzduchem. Trubicový vakuový kolektor vykazuje v této oblasti lepší výsledky díky své konstrukci, jež lépe minimalizuje tepelné ztráty, ale zároveň je finančně méně dostupný kvůli vyšším nákladům na výrobu a instalaci. Co se týče cirkulace ohřívajícího média v systémech solárního vytápění, rozlišujeme mezi přirozeným a nuceným oběhem. Přirozený oběh, často označovaný jako gravitační, závisí na přirozené konvekci, přičemž teplejší médium stoupá a studenější klesá. Nucený oběh naopak využívá čerpadlo k transportu ohřívající kapaliny v systému. Ačkoliv přidání čerpadla představuje další spotřebu elektrické energie, umožňuje tento systém díky efektivnějšímu a rychlejšímu rozvodu tepla výrazně zvýšit roční energetickou účinnost o 20 % až 25 %. [7]



Obr. 3: Plochý vakuový kolektor [8]



Obr. 4: Trubicový vakuový kolektor [9]

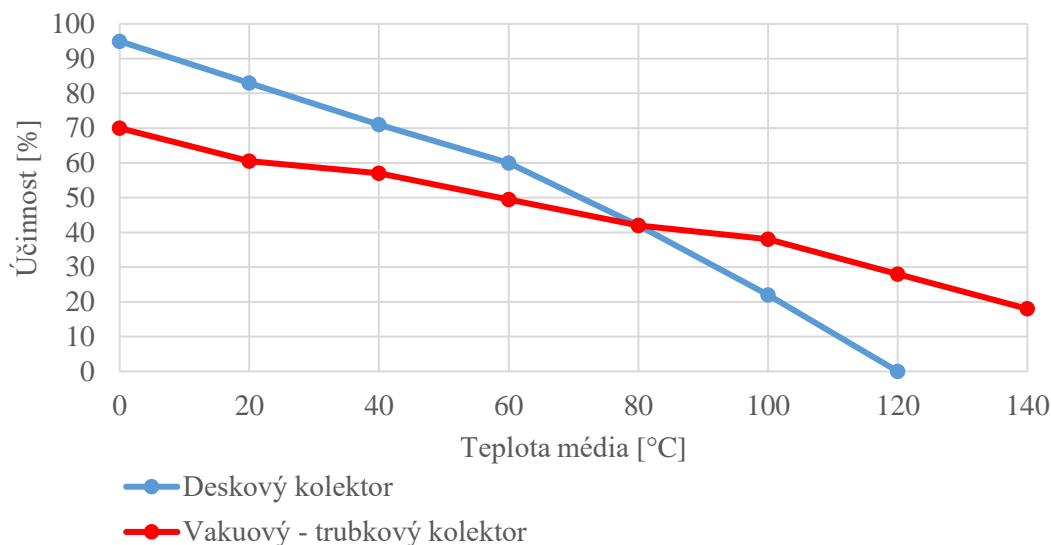
1.2.3 Porovnání fotovoltaických a fototermických systémů

Pro posouzení důvodů rozsáhlé propagace fotovoltaických panelů je vhodné poskytnout kritickou analýzu, která často v této oblasti chybí. Jak bylo zmíněno v kapitole 1.1.1, typická účinnost fotovoltaických panelů se pohybuje okolo 20 %. Využití získané elektrické energie pro ohřev teplé užitkové vody (TUV) zahrnuje dvojitou energetickou konverzi, nejprve ze solární na elektrickou a následně z elektrické na tepelnou energii. Každý konverzní krok snižuje celkovou energetickou efektivitu systému. Naproti tomu solární kolektory, které přeměňují solární energii přímo na teplo, dosahují účinnosti až 80 %.

Při porovnání nákladů obou systémů pro generování přibližně 4 MWh ročně, se cena fotovoltaického systému bez dotací vyšplhá na 355 000 Kč, zatímco fototermický systém s akumulací nádrží o objemu 200 litrů by stál 185 000 Kč. Počáteční investice je tedy nižší u solárního systému.

Životnost fotovoltaických panelů se zdá být srovnatelná s technologií fototermických, ale degradace jejich funkční vrstvy může během 25 let způsobit pokles účinnosti o téměř 20 %, což může vyžadovat výměnu panelů. Na druhou stranu, degradace absorpční vrstvy solárního termického systému je minimální.

Další nezbytnou součástí fotovoltaického systému je střídač napětí, který má životnost 5 až 10 let a je obvykle záručně kryt po dobu maximálně 5 let. Po skončení záruky může výměna střídače vyjít až na 100 000 Kč, což představuje téměř třetinu počáteční investice. Baterie pro ukládání energie mají životnost v závislosti na typu od 1500 do 5000 cyklů, což odpovídá 4 až 14 roků provozu. Kapacita baterie klesá s časem, to může vést k finančním ztrátám buď z levného prodeje přebytečné energie do sítě, nebo z nutnosti dražšího nákupu energie v obdobích vyšší spotřeby. Cena baterií se pohybuje od 70 000 Kč za 3,5 kWh do 200 000 Kč za 10 kWh. Tuto investici do obnovy součástí systému je potřeba také započítat do návratnosti. Současná distribuční síť navíc není plně připravena na připojování fotovoltaických elektráren, proto je zavedeno případné pokutování za přetoky energie, které může zapříčinit výrazné zvýšení nákladů a prodloužení doby návratnosti investice. [9]



Obr. 5: Účinnost deskových a trubkových solárních kolektorů [10] (upraveno)

1.3 Tepelná čerpadla

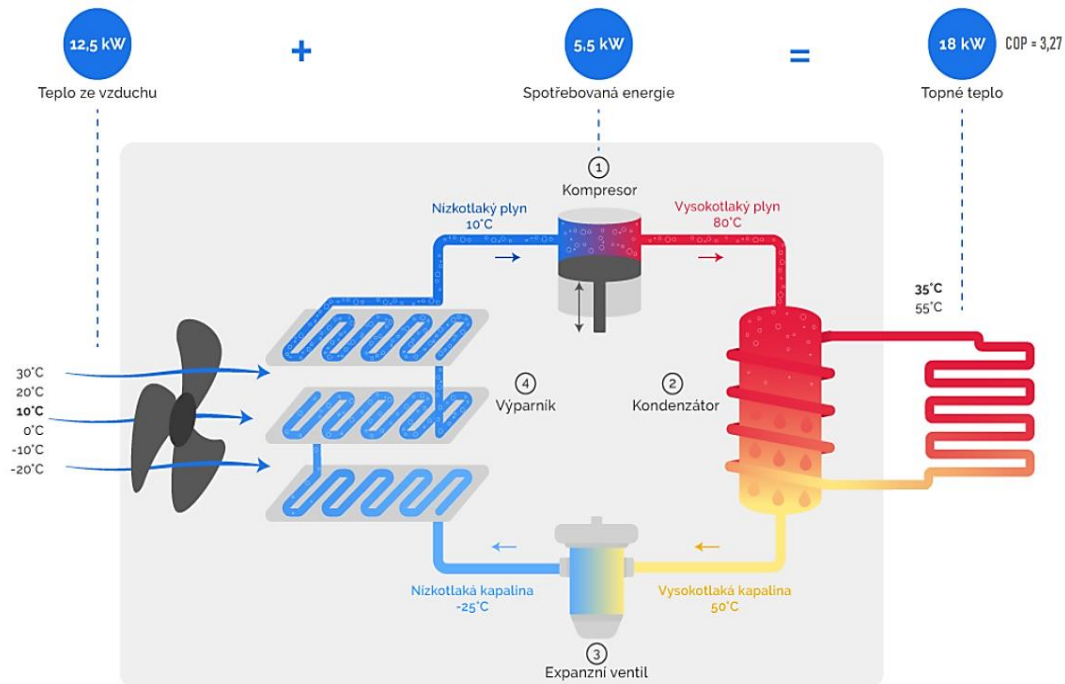
1.3.1 Princip

Tepelné čerpadlo funguje na principu přenosu energie mezi dvěma prostředím s využitím chladiva s nízkým bodem varu. Tento proces začíná, když chladivo ve stavu nízkotlaké kapaliny absorbuje teplo, u domovních instalací většinou z okolního prostředí jako je vzduch, země nebo voda.

Absorbované teplo způsobí změnu skupenství chladiva do formy nízkotlakého plynu, který následně vstupuje do kompresoru. Zde je chladivo stlačováno, což vede ke zvýšení jeho tlaku a teploty. Tento vysokotlaký plyn o teplotě až 80 °C následně cirkuluje do kondenzátoru, kde předává své teplo do systému domácího vytápění, například do akumulární nádrže pro ohřev vody, nebo na vytápění.

Po odchodu z kondenzátoru, kde chladivo uvolní své teplo a zkondenzuje zpět do kapalného stavu o velkém tlaku, projde chladivo expanzním ventilem. Tento ventil snižuje jeho tlak a teplotu, což způsobuje jeho podchlazení. Poté, již jako nízkotlaká kapalina, chladivo opět vstupuje do parního výměníku, kde absorbuje teplo ze zdroje a cyklus se opakuje. [10]

Účinnost tepelných čerpadel se udává pomocí koeficientu výkonu (COP), což je poměr mezi množstvím dodaného tepla a množstvím spotřebované energie. Vyšší hodnota COP indikuje vyšší účinnost tepelného čerpadla, jelikož systém poskytuje více tepla při nižší spotřebě energie. Koeficient výkonu je závislý na venkovní teplotě a při snižující se venkovní teplotě klesá i jeho hodnota. Podle této účinnosti se poté hodnotí výkon tepelných čerpadel a jejich vhodnost pro specifické aplikace v oblasti domácího vytápění a ohřevu vody. [10; 11]



Obr. 6: Princip tepelného čerpadla [10]

1.3.2 Typy tepelných čerpadel

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, tepelná čerpadla potřebují zdroj energie, ze kterého by ji mohly extrahovat. V této kapitole se zaměřím na různé typy těchto zdrojů. Nejběžnějším typem je tepelné čerpadlo vzduch-voda, které využívá energii z okolního vzduchu, včetně vzduchu z odvětrání. Tento systém je populární díky jednoduché instalaci a minimálním nárokům na prostor, což eliminuje potřebu zemních prací a zvyšuje ekologickou šetrnost. Nicméně jeho účinnost může být omezena v oblastech s nízkými průměrnými ročními teplotami. Tato skutečnost může vést ke snížení energetické efektivity a nutnosti záložního zdroje energie. Při venkovní teplotě okolo 7 °C může být čerpadlo vzduch-voda srovnatelné s čerpadlem země-voda, ale při poklesu teploty na -7 °C až -15 °C klesá jeho COP na přibližně 2,9 a 2. [11; 12]

Další variantou je tepelné čerpadlo země-voda, které jako zdroj bere energii naakumulovanou v zemi. Získává se prostřednictvím cirkulace solankového roztoku proudícího v plošném venkovním meandru, či potrubím ve vrtu. Toto řešení může vyžadovat buď hloubkový vrt, nebo instalaci meandru v nezamrzlé hloubce pod zemí. Mezi omezení patří velikost pozemku nezbytná pro dosažení požadovaného výkonu a geologické podmínky pro vrty. Tento typ čerpadla může dosahovat COP až 4,8, i při nízkých venkovních teplotách. [11; 12]

Tepelné čerpadlo voda-voda využívá energii ze zemní vody, která je čerpána ze zdrojové studny a po odebrání tepelné energie je ochlazená voda vrácena do vsakovací studny. Důležitou roli hraje vhodnost lokality pro provedení vrtných prací a potenciální náklady na opravy. [11]

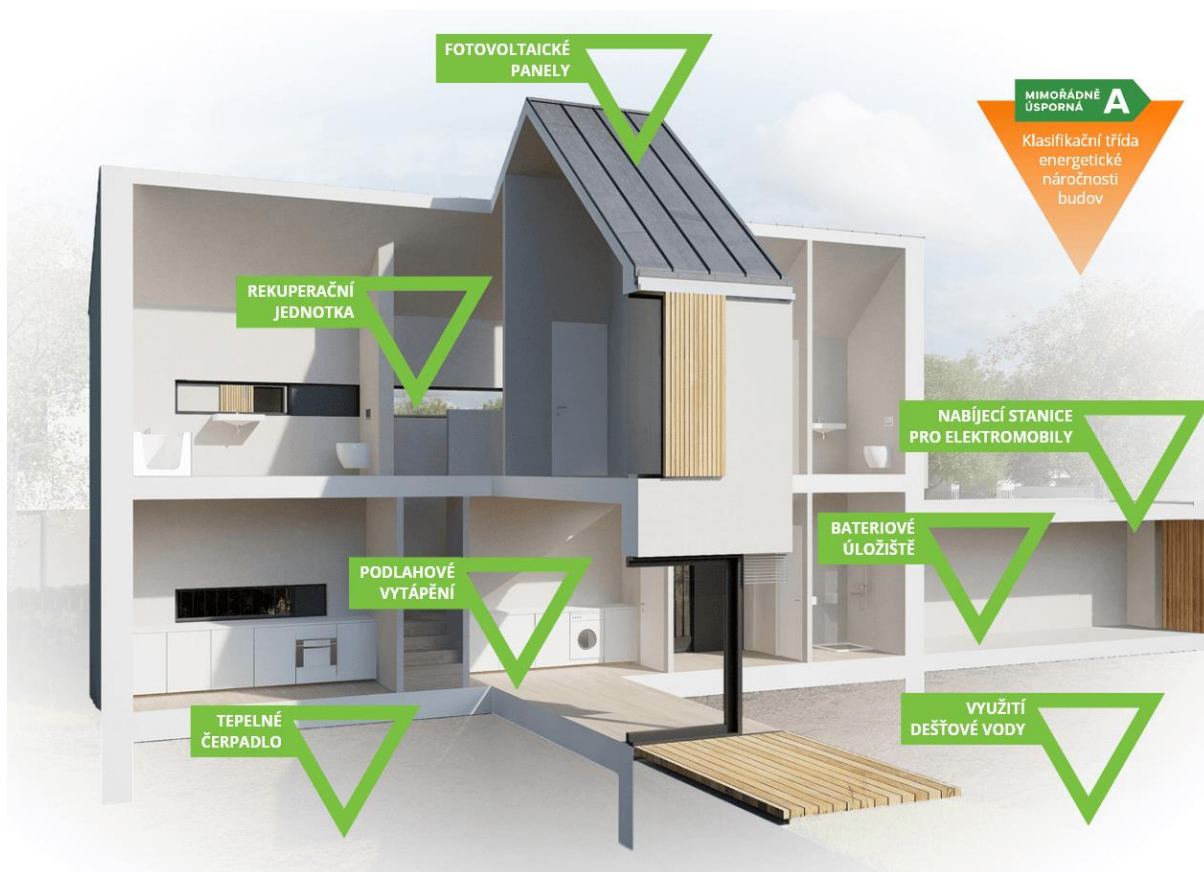
Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch se používá k úpravě vnitřního prostředí a nabízí možnost ohřevu, odvlhčování a čištění vzduchu. Během letních měsíců může sloužit i jako klimatizace. Tento typ je cenově nejdostupnější ze všech tepelných čerpadel a jeho instalace je v porovnání s předchozími variantami tepelných čerpadel nejméně náročná. [13]

1.4 Energeticky účinný design

Energeticky účinným designem budovy se rozumí komplexní proces, který zahrnuje integrovaný přístup v oblastech architektury, stavební techniky a využití pokročilých technologií. Faktory, ovlivňujícími energetickou účinnost, jsou orientace budovy vůči slunci, kvalita tepelné izolace a efektivní zastínění pro minimalizaci případného nežádoucího solárního přehřívání místností.

V rámci těchto základních aspektů je důležité začlenit i dodatečné systémy. Mezi ně patří například fotovoltaické a fototermitické panely, jež transformují sluneční energii na elektriku či teplo. Dále tepelná čerpadla, která efektivně přenášejí teplo z externích zdrojů do budovy, a energeticky úsporné spotřebiče snižující celkovou spotřebu energie.

Tyto prvky je třeba pečlivě vybírat a kombinovat s ohledem na specifické klimatické podmínky, geografickou polohu a individuální požadavky uživatelů objektu. Design by měl být optimalizován tak, aby byl dosažen požadovaný komfort při minimalizaci energetického a environmentálního dopadu. [14]



Obr. 7: Aspekty energeticky účinného designu rodinného domu [14]

Pro dosažení optimálního výsledku je podstatná multidisciplinární spolupráce mezi architekty, inženýry a technologickými specialisty. Tento propojený týmový přístup, dává dohromady každý díl „desatera“ principů energeticky účinného designu a zajišťuje, že všechny aspekty návrhu jsou vzájemně sladěny a vedou k využití plného potenciálu budov, které jsou nejen energeticky účinné, ale také funkční a esteticky poutavé. Tato spolupráce by měla být

zaměřena na dosažení nejlepších možných výsledků pro každý specifický projekt, což vyžaduje detailní znalosti z různých oborů a schopnost týmu efektivně komunikovat a integrovat různé technologie a postupy. [15]



Obr. 8: Body kooperace technických odvětví [15]

1.4.1 Orientace domu

Při plánování nového domu je dalším aspektem optimální orientace domu vzhledem ke světovým stranám, která má významný dopad na energetickou účinnost a komfort bydlení. Správná orientace může výrazně snížit náklady na provoz a vytápění domu.

Jižní orientace domu umožňuje maximální využití solárního záření během zimních měsíců, to přispívá k přirozenému ohřívání prostorů. V létě však může tato orientace vést k nadměrnému prohřívání a potřebě efektivních stínících systémů, jako jsou například venkovní rolety. Uvažování o vyšším standardu zasklení, jako je trojsklo, může být v těchto případech přehodnoceno s ohledem na potřebu stínění.

Severní orientace je ideální pro místnosti, které vyžadují konstantní, avšak mírnější osvětlení a jsou méně závislé na solárním záření. Tato strana je typicky vhodná pro technické místnosti, garáže nebo sklady, kde není požadováno intenzivní denní světlo.

Východní a západní orientace domu poskytují příležitosti pro pasivní solární ohřev během ranních a večerních hodin. Avšak stejně jako u jižní orientace mohou tyto strany trpět přehříváním. V takovém případě vyžadují adekvátní stínění a ventilaci k předejití kondenzace a plísním, které se mohou objevit při nedostatečné cirkulaci vzduchu.

V kontextu okolního terénu mohou vegetace jako stromy nebo aleje poskytovat přirozenou ochranu proti větru a hluku, ale zároveň by neměly zastíňovat dům, aby se předešlo zmiňovaným problémům s vlhkostí. Svahy mohou být využity k přirozenému odvodu dešťové vody a snížení vlhkosti. Studený vlhký vzduch totiž proudí dolů, protože je těžší, a pomáhá tak větracím a topným systémům v domácnosti zlepšovat celkovou klimatickou pohodu uvnitř domu.

Je důležité, aby byl každý projekt přizpůsoben konkrétním podmínkám a možnostem dané lokality. Před realizací veškerých technických řešení je vhodné zvážit lokální klimatické a geografické faktory, a provést důkladnou analýzu potřeb a možností obyvatel domu. [16; 17]

1.4.2 Izolace

Izolace domácnosti je pro zajištění energetické efektivity budovy nezbytnou položkou. Správná izolace minimalizuje tepelné ztráty, tím umožňuje udržovat stabilní vnitřní teplotu a zároveň snižuje náklady na vytápění a chlazení. Tato úspora energie se odrazí ve zlepšení energetického štítku budovy.

Parametrem pro hodnocení kvality izolace je tepelný odpor. Vyšší tepelný odpor znamená lepší izolační schopnosti materiálu, což vede k menšímu průniku tepla do budovy v létě a v zimě k menšímu úniku tepla ven.

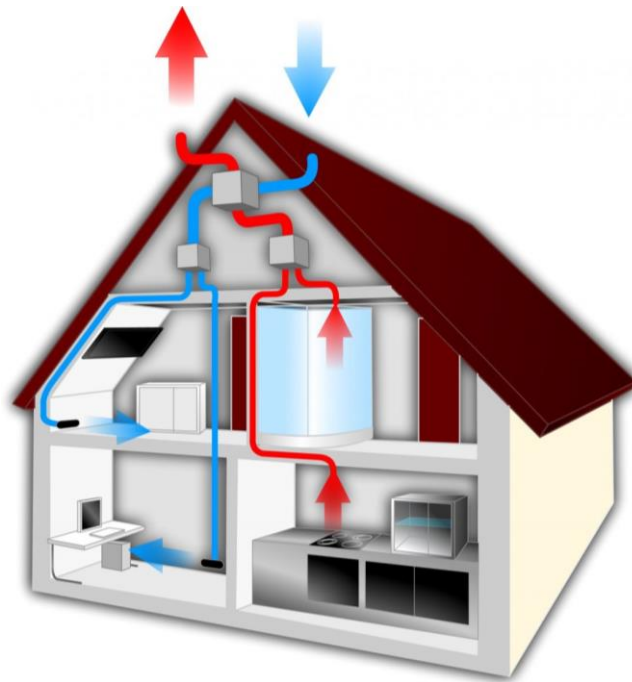
Mezi nové možnosti izolace na trhu patří izolace foukaná, která nabízí výhody v podobě vyšších tepelných odporů ve srovnání s tradičními izolačními materiály jako je skelná vata. Foukaná izolace se efektivně adaptuje na nepravidelné tvary a mezery v konstrukci, to zabraňuje tepelným mostům a zvyšuje celkovou energetickou efektivitu budovy.

Okna a dveře jsou dalšími kritickými body, kde může docházet k nežádoucím tepelným ztrátám. Kvalita zasklení má taktéž významný vliv na tepelné zisky a ztráty. Na základě orientace budovy a cíle pasivního solárního ohřevu je vhodné volit dvouvrstvá nebo třívrstvá okna. Třívrstvá okna nabízejí lepší izolační vlastnosti a minimalizují tepelné úniky, či nežádoucí tepelné zisky, což je stěžejní v situacích, kdy je potřeba omezit přehřívání interiéru během teplých měsíců.

Celkově optimální výběr izolačních materiálů a souvisejících prvků závisí na specifických podmínkách projektu, včetně klimatických podmínek a orientace budovy, a má zásadní vliv na energetickou účinnost a tepelný komfort.[18;19]

1.4.3 Rekuperace

Smysl a princip rekuperace je zpětné získávání tepla, které je prováděno vháněním nového vzduchu zvenčí do rekuperačního výměníku uvnitř vzduchotechnické jednotky. V tomto výměníku dochází k bezkontaktnímu předání tepla z vnitřního vzduchu přes teplosměnnou plochu například z koupelny a digestoře, na vzduch zvenčí. Tento vzduch jsme při domovní teplotě 22 °C, účinnosti výměníku 85 % a venkovní teplotě vzduchu -5 °C schopni ohřát přibližně na 18 °C. Tím je odváděn vlhký a nečistý vzduch a zároveň je využita jeho tepelná energie. Takto se zvýší efektivita větrání, které je bez výměny tepla velmi ztrátové a především neautomatické. A ne každý je v dobře izolovaném domě zvyklý denně pravidelně větrat. Účinnosti rekuperace jsou reálně mezi 30 % až 90 %. Když je účinnost nulová, znamená to, že nevyužíváme tepelnou energii z domovního vzduchu pro předehřev čerstvého venkovního vzduchu, tedy je to stejné jako kdybychom větrali okny. Ve skutečnosti se snažíme hledat katalogové hodnoty účinnosti rekuperací mezi 60 % a 90 %. Rekuperaci mimo jiné přispívá jako prevence proti vzniku plísní v domácnosti a zbavuje přiváděný vzduch mimo jiné taky prachu a pylů, což je pro alergiky velkou výhodou. Existují i lokální rekuperace aplikované do jednotlivých místností separovaně fungující jako samostatné výměníky.[20; 21]



Obr. 9: Rekuperační schéma [20]

1.4.4 Zlepšení osvětlení

Výměna osvětlení je malou položkou k efektivnějšímu využívání energie. Zahrnuje instalaci LED osvětlení a pohybových senzorů. LED technologie snižuje spotřebu energie díky vyšší efektivitě a delší životnosti, ale také umožňuje přizpůsobení barevných teplot. Denní osvětlení by mělo mít chladnější odstín, zatímco pro večerní osvětlení je vhodnější teplejší odstín, který podporuje relaxaci a přípravu na spánek. Toto je zvláště důležité při používání elektronických zařízení ve večerních hodinách, kdy by mělo být minimalizováno modré světlo.

I přes relativně nízké náklady na modernizaci osvětlení může mít tento krok významný pozitivní dopad na celkové zlepšení kvality bydlení. [22]

1.4.5 Inteligentní domovní ovládání

Inteligentní domovní ovládání poskytuje efektivní metody pro minimalizaci nadbytečné spotřeby energie pomocí technologií, které umožňují vzdálenou správu a monitorování domácích systémů. Například inteligentní zásuvky a vypínače lze ovládat prostřednictvím mobilních aplikací, umožňují vypnout zařízení a světla i dálkově, když nejsou potřeba a nikdo není doma, čímž se snižuje nechtěná spotřeba elektrické energie.

Bezdotykové senzory pro osvětlení automaticky regulují světla v závislosti na přítomnosti osob v místnosti, a chytré termostaty umožňují efektivní správu vytápění, čímž zvyšují komfort a zároveň snižují náklady na energie. Systémy pro monitorování spotřeby umožňují identifikovat a řešit energeticky neefektivní oblasti domova.

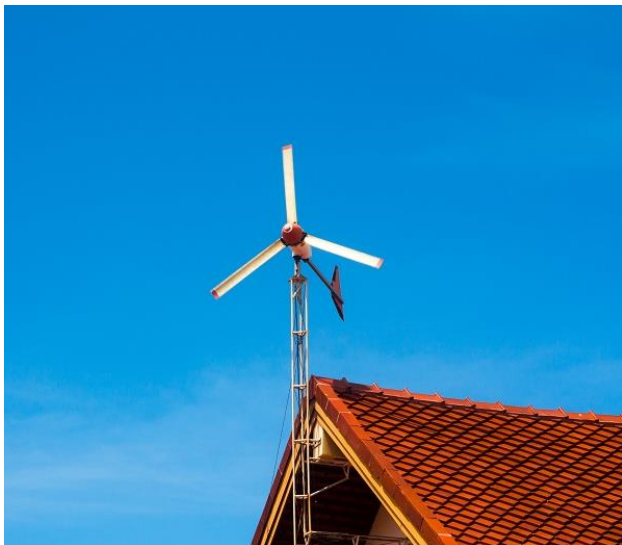
Z výše uvedeného vyplývá, že inteligentní ovládání domácnosti má svůj podíl na malém zvýšení energetické účinnosti a snižuje náklady, zatímco poskytuje uživatelům lepší kontrolu nad jejich domácím prostředím.[23]

1.5 Větrné turbíny

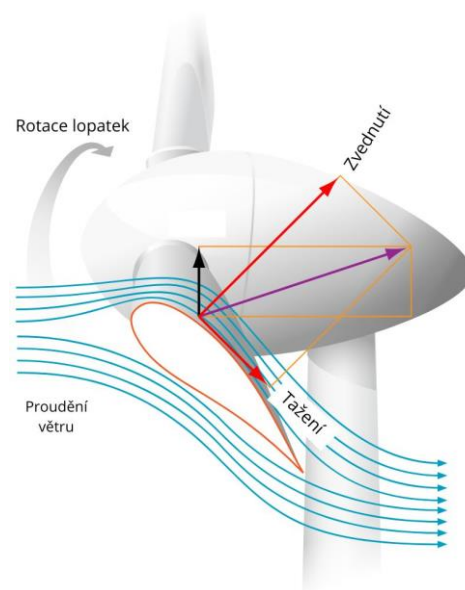
Podstatou větrných turbín je, že vítr dopadá na listy větrné elektrárny a roztáčí rotor, jenž je převodovkou spojen s generátorem, který vzápětí vyrábí elektrickou energii. Větrné turbíny se skládají z lopatek, elektrického generátoru a případně spojky a brzdy. Základní typy větrných turbín jsou odporové a vztlakové. Nejznámější odporovou turbínou je Savoniová turbína, jejímž principem je vytvoření překážky v podobě lopatek turbíny, ty jsou pak nápořem větru nuceny k pohybu a začnou rotovat kolem své osy. Každá lopatka má však svou druhou stranu, do které se vítr taktéž opírá a působí tak proti směru otáčení. Proto je potřeba najít takové řešení, díky kterému se minimalizuje brždění a dostaneme co největší akceleraci. Odporové turbíny jsou nejčastěji instalovanými domovními systémy pro výrobu elektřiny. Vztlakové turbíny jsou klasické vrtulové, ale do této kategorie spadá svým principem i Darieova turbína. Pracují na totožném principu jako křídla letadel a to tak, že díky tvaru lopatky vzniká pod a nad lopatkou tlaková diference kvůli rozdílné vzdálenosti, kterou vítr musí urazit. To má za následek stoupání letadla a v našem případě rotaci turbíny. Kvůli profilaci vrtulových listů je náročnější na výrobu. [24; 25; 26]

Dále jsou větrné turbíny děleny v závislosti na ose rotace na horizontální a vertikální. Malé vertikální větrné turbíny jsou obvykle instalovány na střechy budov, či menší stožáry a horizontální jsou používány spíše pro velké energetické projekty. Teoretická maximální účinnost je dána Bentzovým pravidlem vyplývajícím ze zákona zachování hmoty a činí 59,3 %. Reálně se však pohybujeme u vertikálních turbín okolo 38 % a u horizontálních okolo 48 %. Pro maximální výkon potřebuje vertikální turbína rychlost větru okolo 15 m/s až 20 m/s.

Horizontální turbíny jsou většinou účinnější, ale vertikální turbíny jsou vhodnější pro střešní instalace a nejsou tak náročné na povětrnostní podmínky. Záležitosti ovlivňující výkon větrné turbíny jsou jednak lokální povětrnostní podmínky, které lze zjistit pro jakoukoliv lokalitu a nadmořskou výšku na internetu. Poté samotný typ větrné turbíny, kterých je na trhu mnoho. Umístění je vhodné projektovat na místo s co nejmenším možným stíněním, tedy na co nejvyšší místo, kde nebude hrozit ovlivňování proudu větru například okolními stromy, či vysokými budovami. [25; 26; 27]



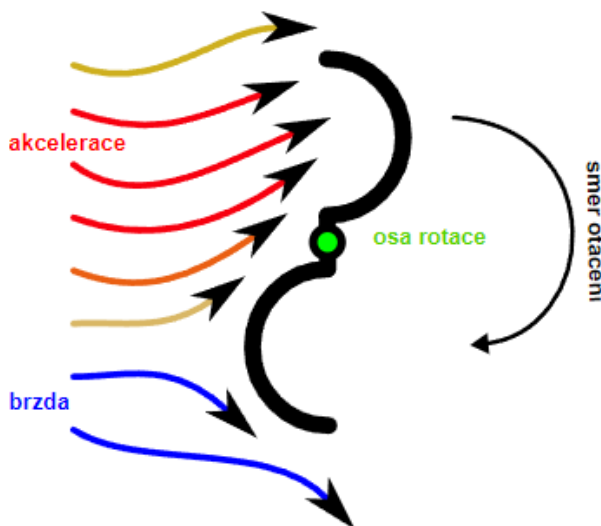
Obr. 13: Horizontální vztlaková turbína [35]



Obr. 12: Princip vztlakových turbín [34]



Obr. 10: Savoniova turbína [33]



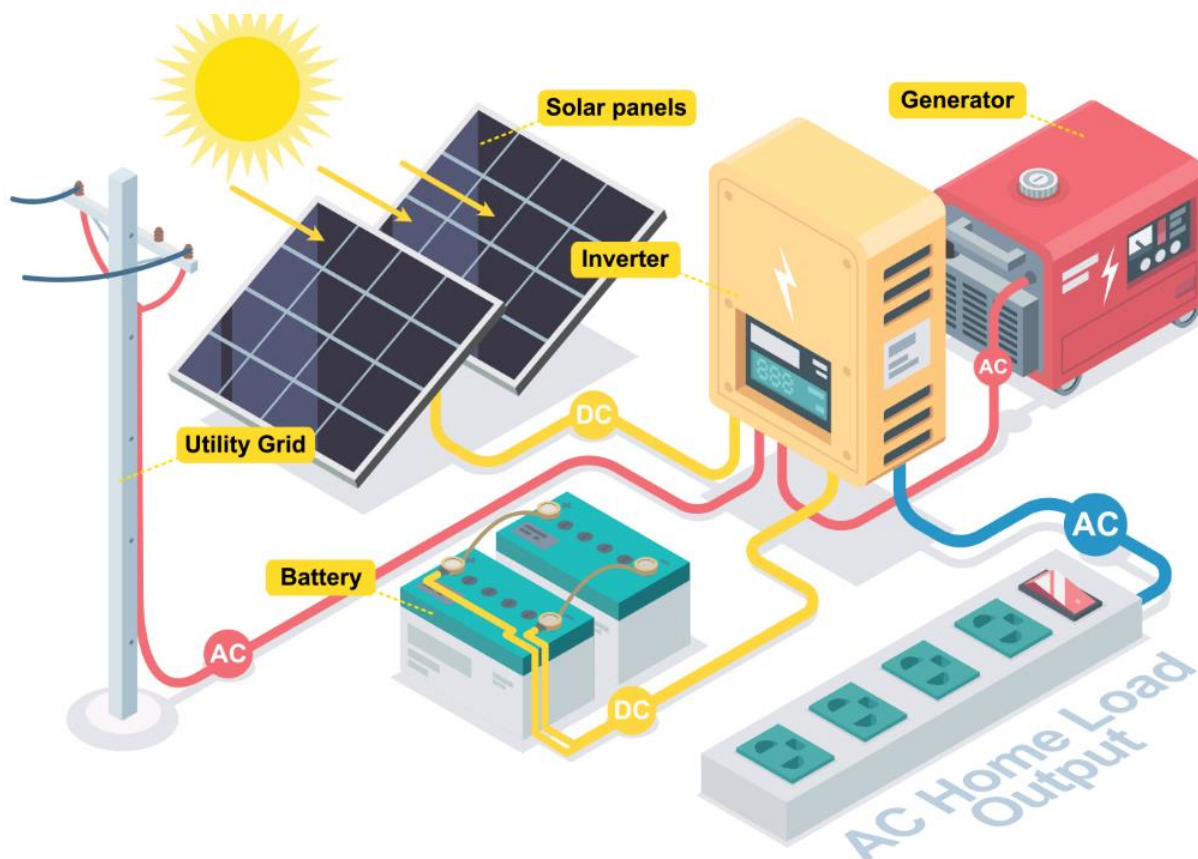
Obr. 11: Princip odporových turbín [24]

1.6 Akumulace energie

Ve chvíli, kdy se rozhodneme využít výše zmíněné doplňkové systémy pro naši domácnost, přichází otázka akumulace energie. Existuje několik nejrozšířenějších variant, jak s energií můžeme naložit. Bateriové uložení energie umožňuje ukládání energie z obnovitelných zdrojů jako například z fotovoltaiky, větrné turbíny a její následné využití v době potřeby ve chvíli jejího nedostatku. Tepelné uložení umožňuje uložení přebytku energie ze solárních kolektorů a následné využití na vytápění či ohřev vody ve chvíli nedostatku. [28]

1.6.1 Bateriová uložení

Jedním z úskalí bateriových uložení je poplatek za rezervovaný výkon. U domácností je to zjednodušeně platba za jistič, dlouhodobé náklady na servis s údržbou a úrokovými sazbami. V případě nevzrůstajících cen elektrické energie a zlevňování baterií mají bateriové projekty výraznou ziskovost pouze v případě potenciálního snížení plateb za výše zmíněný rezervovaný výkon. Z pohledu ekonomiky provozu dokáže bateriové uložení vykrýt odběrové špičky domu a tím uspořit na paušálních platbách za rezervovaný výkon. V tomto případě je třeba počítat zisk z instalace bateriového uložení jako rozdíl mezi cenou za nespotřebovanou elektřinu z rozvodné sítě, náklady na instalaci a provoz fotovoltaické elektrárny (náklady na výrobu elektřiny z FVE) a cenou, kterou lze potenciálně získat prodejem vyrobené energie. V těchto výpočtech následně hrají velkou roli diagramy výroby energie a spotřeby budovy, které přímo souvisí s akumulací kapacitou baterie a velikostí rezervovaného výkonu a jeho financováním. Je však velmi složité monitorovat veškeré toky elektřiny v domě v průběhu celého roku a zmiňovaný výpočet je tímto ovlivněn chybou. I při instalaci baterií je však drtivá většina těchto akumulacích systémů používána paralelně s distribuční sítí dodavatele, která umožňuje lepší pokrývání špiček domovní spotřeby. To souvisí i s životností bateriového uložení. Cyklická životnost velmi závisí na hloubce vybíjení, ke kterému by mohlo docházet ve chvílích špičkové spotřeby domácnosti, proto se tyto systémy používají paralelně s odběrem ze sítě dodavatele, aby baterie dosahovaly vyšší životnosti. [29]

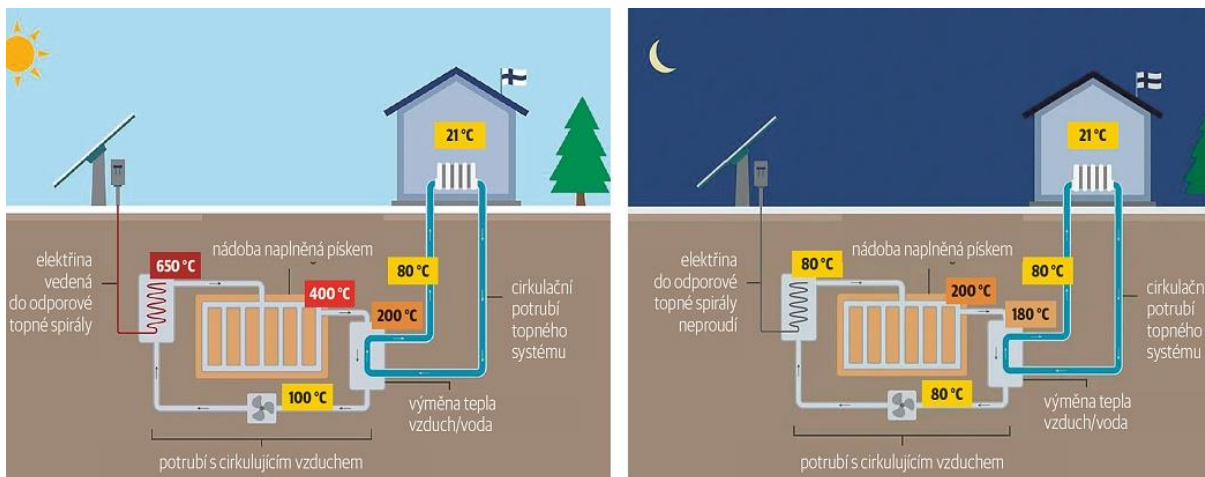


Obr. 14: Zapojení baterií pro domácí fotovoltaický systém [36]

1.6.2 Tepelná uložení

Používají se jakožto alternativa místo bateriových uložení, jež jsou prozatím finančně nákladná a jejich technologie se doposud potýká s mnoha nedostatky, kterými je mimo jiné i jejich environmentální vliv při výrobě a likvidaci. V tepelných uloženích se dá nepřímo ukládat elektrická energie, a to v tepelné formě, jak z názvu vyplývá. Přebytečná energie z obnovitelných zdrojů, kterou nejsme schopni v rámci okamžité spotřeby domácnosti využít, je automaticky nasměrována do akumulací nádrže, kde projde odporovou spirálou a svou energii předá do zásobníku. Naopak při nedostatku elektrické energie je možnost odpojení, aby veškerá vyrobená elektřina pokryla okamžitou spotřebu. Tyto priority na ohřev vody, nebo dodávku elektrické energie lze nastavit tak, aby bylo vždy zajištěno maximální využití vyrobené elektrické energie. Topná spirála v zásobníku může být konstruována na stejnosměrné napětí, nebo střídavé, ke kterému je ale potřeba zajistit i měnič. V případě velké fotovoltaické elektrárny a adekvátního zásobníku lze zajistit kromě ohřevu užitkové vody i ohřev vody v otopném systému, protože je v zásobníku i spirála pro ohřev vytápěcí vody. Mezi výhody patří, že veškeré přebytky elektrické energie nekončí ve veřejné síti, ale jsou nepřímo uloženy v zásobníku. Negativum toho je nemožnost transformace uložené tepelné energie zpět na energii elektrickou. [28; 30]

Jedním z prototypů je například pískové tepelné uložení energie z obnovitelných zdrojů osvědčené v severských zemích. V českých podmínkách by mohlo představovat efektivní způsob ukládání energie. Systém spočívá v ukládání energie z jakýchkoliv obnovitelných zdrojů do pískového uložení realizovaného skrze výměník, kterým proudí vzduch ohřívající pískové uložení. Z něj se v případě potřeby naakumulovaná energie pomocí dalšího výměníku odvádí. Nejedná se až tak ani o utopickou vizi rozšíření tohoto systému vzhledem k tomu, že se již osvědčil a ekologický dopad má minimální.[30]



Obr. 15: Znárodnění jednoho z řešení principu ukládání energie za slunných, teplých dnů a jejího využití k ohřevu radiátorů během chladných nocí [30]

2 Praktická část

V této části práce představuji modelový dům, vypočítávám celkovou energii potřebnou na vytápění, ohřev teplé vody a spotřebiče. Následně samostatně uvádím jednotlivé systémy, na které mi byla poskytnuta cenová nabídka celkové instalace. U systémů definuji základní technické parametry sestavy a následně uvádím, co daný alternativní systém v modelovém domě nahrazuje. Na závěr zhodnocuji případné přínosy jednotlivých alternativních systémů vzhledem k momentálním výdajům domácnosti, tedy zda se vyplatí, nebo v jakém případě mají z ekonomického hlediska smysl.

2.1 Představení domu

Modelový dům se nachází ve středu Vysočiny na Jihlavsku v nadmořské výšce 520 metrů. Jedná se o přízemní rodinný dům se třemi pokoji, koupelnou, kuchyní spojenou s obývacím pokojem a technickou místností, tedy 4+kk. Celková obytná vytápěná plocha objektu je 100 m². V popisované domácnosti žije čtyřčlenná rodina. Dům je postaven z ytongu 450 mm a střechu má zateplenou 300 mm vrstvou skelné vaty. Připojení má pouze na elektrickou distribuční síť, a nemá plynovou přípojku. Spotřeba domácnosti je vzhledem k ročnímu období následující – v létě je pro ohřev teplé užitkové vody používána elektřina z nočního levného tarifu a pro elektrické spotřebiče elektřina z normálního tarifu. V zimních měsících je pro ohřev teplé užitkové vody a vytápění používána krbová vložka a elektřina je přes zimu spotřebovávaná pouze spotřebiči.



Obr. 16: Modelový dům

2.2 Roční spotřeba energií

Za rok se spálí 11 m³ vysušeného kusového smrkového dřeva, což poskytuje, s hustotou okolo 470 kg/m³, tabulkovou výhřevností 4,4 kWh/kg a s katalogovou účinností krbové vložky 87,4 %, potřebnou tepelnou energii využívanou pro ohřev vody a vytápění v zimních měsících(2.1). [31; 32]

$$(11 \times 470 \times 4,4) \times 0,874 \approx 19,9 \text{ MWh}, \quad (2.1)$$

Z výpisu spotřeby elektřiny (tabulka 1) od dodavatele můžeme vyčíst, že za předpokladu využívání elektřiny z nízkého tarifu pouze pro ohřev vody v letních měsících, se potřeba tepla domácnosti zvyšuje na 21,1 MWh.

Tabulka 1: Spotřeba elektřiny

Od	Do	Počet dní	Spotřeba VT (MWh)	Spotřeba NT (MWh)	Celkem (MWh)
23.06.2022	22.06.2023	365	1,299	1,173	2,472

Spotřebu elektřiny z vysokého tarifu (tabulka 1) používáme pro běžný provoz domovních spotřebičů. Celkovou spotřebu energie domácnosti po sumarizaci poté ukazuje tabulka 2.

Tabulka 2: Celková spotřeba energie

CELKOVÁ SPOTŘEBA ENERGIE	
	Spotřeba energie [kWh]
Elektřina	2 472
Tuhé palivo (krbová vložka)	19 900
Celková energie	22 372

Nyní musíme rozdělit energii spotřebovanou na ohřev teplé vody a vytápění. V modelové domácnosti žijí čtyři osoby a průměrná tabulková spotřeba teplé vody na osobu za den je 47,4 litrů. Celkovou spotřebu teplé vody v litrech za rok zjistíme vynásobením průměrné denní spotřeby jednoho člověka čtyřmi osobami a následně vynásobíme počtem dní v roce (2.2).[32]

$$47,4 \times 4 \times 365 = 69204 \text{ l/rok} \quad (2.2)$$

Potřebnou energii pro ohřev tohoto množství teplé vody nyní vypočítáme z toho, kolik energie je potřeba pro ohřev 1 litru vody při konstantní měrné tepelné kapacitě 4186 J/kgK a uvažované hustotě 1000 kg/m³ z teploty 10 °C na 50 °C. Nejdřív zjistíme potřebnou energii v joulech na kilogram z kalorimetrické rovnice (2.3) a po dosazení (2.4) převedeme výsledek na kWh (2.5).

$$Q_1 = mc\Delta T \quad (2.3)$$

$$Q_1 = 1 \times 4186 \times (50 - 10) = 167440 \text{ J/kg} \quad (2.4)$$

$$Q_1 = 167440 \div 3600000 = 0,058 \text{ kWh} \quad (2.5)$$

Následně stačí vynásobit (2.5) celkovou roční spotřebou teplé vody (2.2) a získáme celkové množství roční energie pro ohřev teplé vody (2.6).

$$Q_2 = 69204 \times 0,058 = 4014 \text{ kWh} \quad (2.6)$$

Energie dodaná křbovou vložkou na ohřev teplé vody vychází z rovnice (2.7), kde od celkové energie na ohřev teplé vody (2.6) odečteme energii branou z nízkého tarifu (tabulka 1).

$$Q_3 = 4014 - 1173 = 2841 \text{ kWh} \quad (2.7)$$

Posledním bodem je zjištění energie dodané křbovou vložkou na vytápění, který popisuje rovnice (2.8), kde se od celkové energie dodané křbovou vložkou (tabulka 2) odečte energie z křbové vložky potřebná na ohřev teplé vody (2.7).

$$Q_4 = 19\,900 - 2\,841 = 17\,059 \text{ kWh} \quad (2.8)$$

Pro transparentnost výsledků předchozích výpočtů slouží tabulka 3.

Tabulka 3: Podíl zdrojů na potřebách energie

	Zdroj energie	
	Křbová vložka	Elektřina
Vytápění	17 059 kWh	-
Ohřev teplé vody	2 841 kWh	1 173 kWh
Spotřebiče	-	1 299 kWh

2.3 Fotovoltaická elektrárna

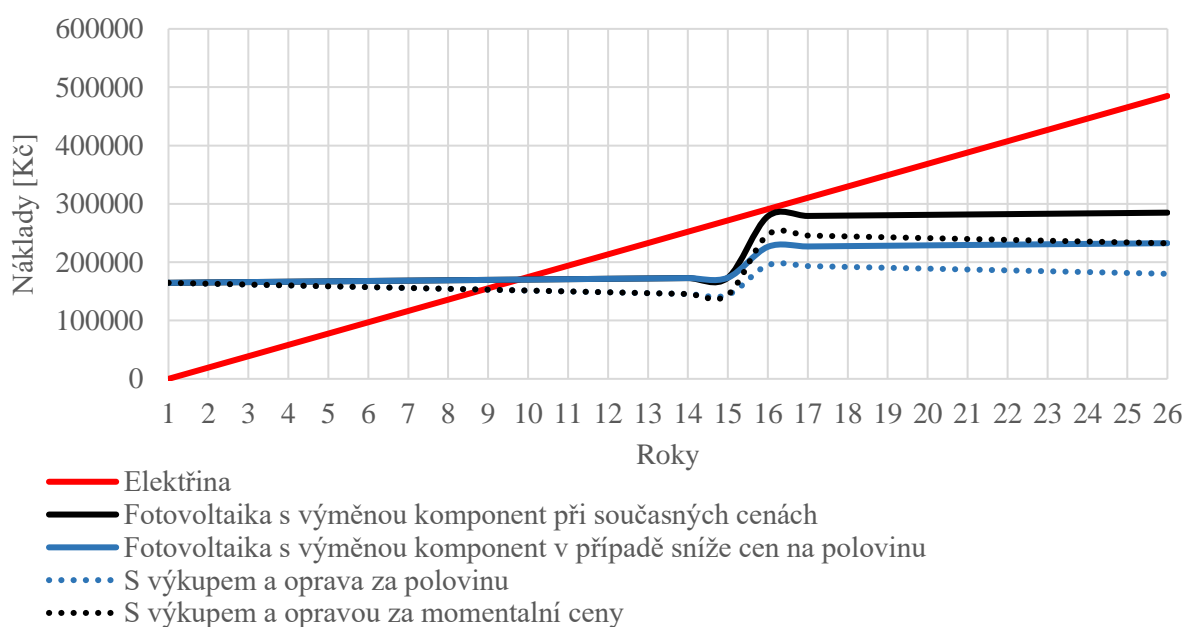
Byla poptána firma, která na základě dat o lokalitě a celkové spotřebě elektrické energie vypracovala cenovou nabídku. Informace o systému poskytuje tabulka 4.

Tabulka 4: Parametry fotovoltaické elektrárny

Instalovaný výkon	3,44 kWp
Roční výroba	3,5 MWh
Baterie	7,1 kWh
Cena bez dotace a slevy	297 065 Kč
Dotace	117 560 Kč
Zákaznická sleva	14 853 Kč
Celkově k úhradě	164 652 Kč

Systém je navržen k nahrazení veškeré elektřiny dodávané ze sítě (tabulka 2) a z pohledu návratnosti není možné počítat s prodejem přebytků do sítě, protože v dané lokalitě není povolený. Roční výroba je simulovaná dle klimatických podmínek dané lokality. Na domy určené k bydlení se vztahuje státní dotace z programu Nová zelená úsporám.

Návratnost této fotovoltaické elektrárny vychází z obr. 17 na 10 let (v případě polovičních cen obnovy baterií a střídače). V návratnosti je započítán roční poplatek provozu elektrárny a po patnácti letech provozu je připočítána investice do obnovy bateriových uložišť a střídače s předpokladem polovičních i momentálních cen. Pro porovnání s případnou možností prodávání nadbytečně vyrobené energie za cenu 2 Kč/kWh jsou přidány tečkované křivky, u kterých vychází návratnost na 9 let. Dále je započítán roční pokles výkonu o 0,6 % a počítá se s konstantní cenou elektřiny jako je nyní, tedy 6 Kč/kWh při vysokém tarifu 4 Kč/kWh. Co se cen elektřiny týče, je potřeba zmínit, že když byly zastropovány ceny elektřiny, za kWh energie byly účtovány stejné ceny s rozdílem, že u nízkého tarifu se účtoval menší poplatek za distribuci.



Obr. 17: Návratnost fotovoltaické elektrárny

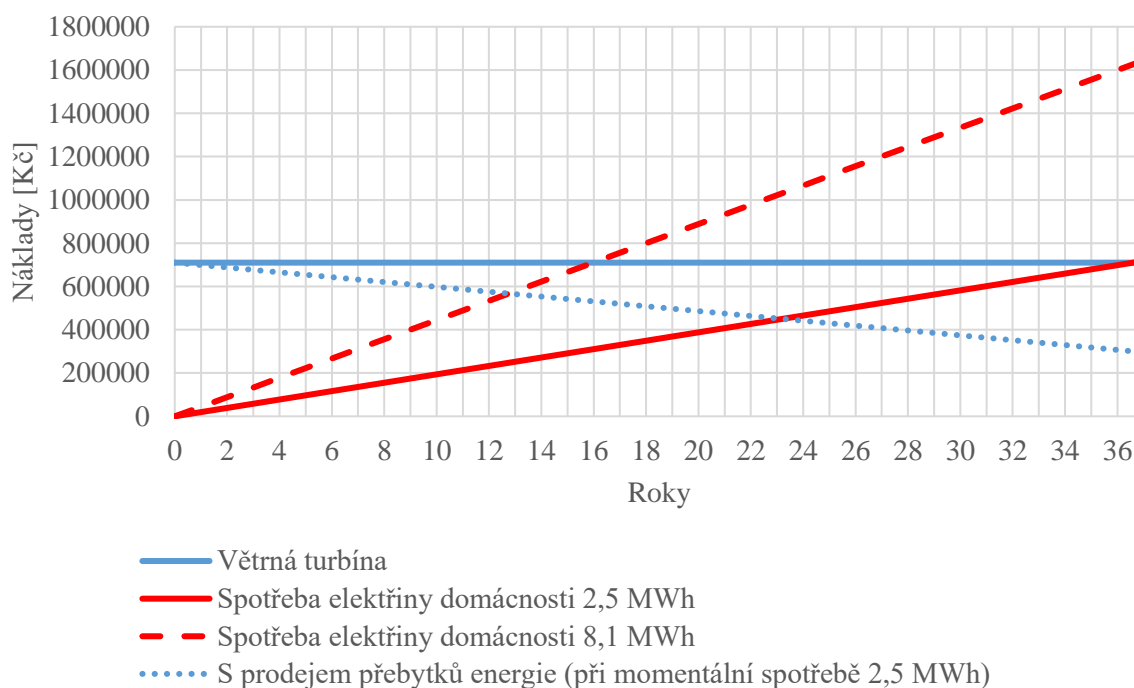
2.4 Větrná elektrárna

Další byla poptána cenová nabídka na větrnou elektrárnu pro pokrytí veškeré elektrické energie odebírané ze sítě (tabulka 2). Simulovaná roční produkce byla vzhledem k meteorologickým podmínkám dané lokality vyčíslena na 8,1 MWh. Žádné dotace týkající se větrných turbín nebyly poskytnuty. Ve finální ceně není započítána cena dopravy. Stejně jako u předchozí varianty s fotovoltaikou není možné do návratnosti počítat možný prodej přebytků do elektrizační soustavy, protože v dané lokalitě není povolen.

Tabulka 5: Parametry větrné elektrárny

Instalovaný výkon	5,5 kWp
Roční výroba	8,1 MWh
Baterie	10 kWh
Dotace	-
Celkově k úhradě	710 126 Kč

Návratnost byla počítána vzhledem k roční spotřebě elektřiny (tabulka 2) na 37 let (obr. 18). Kdyby však byla možnost prodávat přebytečnou výrobu větrné turbíny do elektrizační sítě, mělo by to na návratnost znatelný vliv. Stejný vliv by na návratnost mělo, kdyby domácnost byla schopná využít celkovou výrobu turbíny, která činí 8,1 MWh. Návratnost elektrárny při takové roční spotřebě elektřiny by poté byla okolo 17 let. V alternativním případě možného prodeje přebytků z obr. 18 vyplývá, že by byla návratnost 23 let.



Obr. 18: Návratnost větrné elektrárny

2.5 Tepelné čerpadlo

Na cenovou nabídku tepelného čerpadla byla použita kalkulačka jedné firmy, která vycházela z toho, jaký používá domácnost zdroj tepla, tedy u modelové domácnosti se jedná o krbovou vložku, dále bylo potřeba zadat zdroj pro ohřev vody, kterým je primárně krbová vložka a poté bylo potřeba zadat energetické ztráty domu a vzhledem k tomu, že se jedná o novostavbu, tak bylo možné tuto informaci vyčíst z energetického štítku budovy. Instalace tepelného čerpadla měla nahradit veškerou energii dodávanou krbovou vložkou (tabulka 2).

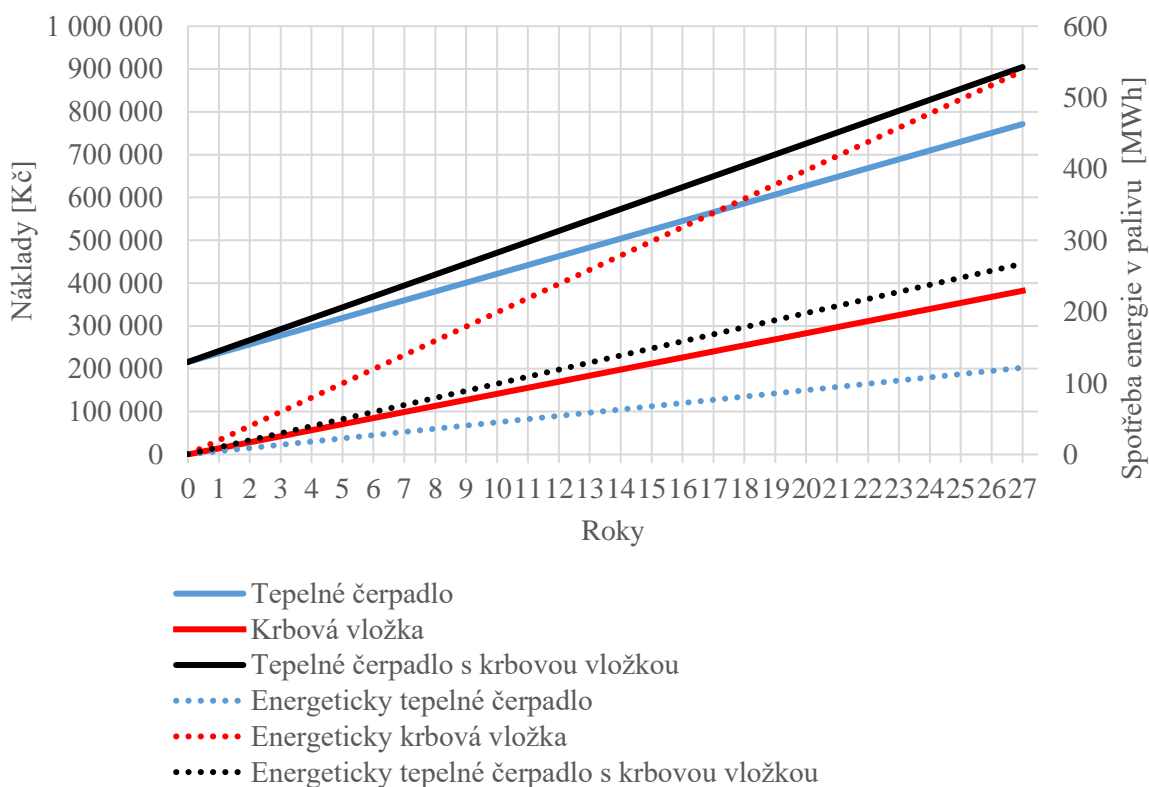
Tabulka 6: Parametry tepelného čerpadla

Instalovaný výkon	5,6 kW
Roční výroba	14,5 MWh
Cena bez dotace	315 909 Kč
Dotace	100 000 Kč
Celkem k úhradě	215 909 Kč
Úspora CO ₂ /rok	5 tun

Tepelná čerpadla spadají do dotačního programu Nová zelená úsporám, a kdyby se jednalo o náhradu neekologického zdroje vytápění, jako je například elektrokotel, kamna, kotel na topný olej, či kotel na tuhá paliva 1. a 2. třídy, mohla by se dotace vyšplhat až na 180 000 Kč z kotlíkových dotací.

Na obr. 19 můžeme vidět graf tří situací (plné křivky). Červená vyjadřující náklady na provoz momentální křbové vložky, modrá křivka ukazuje náklady na provoz tepelného čerpadla, které bylo navrženo, ačkoliv nepokrývá celkovou spotřebu domácnosti, proto následuje křivka černá, jež znázorňuje nákladnost provozu tepelného čerpadla společně s křbovou vložkou nahrazující zbývající energii pro zajištění zbývajících roční potřeby energie.

Z pohledu energetického potenciálu (tečkované křivky) vychází při zanedbání nedostatečnosti samotného tepelného čerpadla nejlépe kombinace tepelného čerpadla s křbovou vložkou. Energetický potenciál končí ve chvíli započítání cen za zdroje energií. Při spalování v křbové vložce se spálí znatelně větší množství energie, ale při poměru ceny dřeva a elektřiny už tato kombinace z pohledu návratnosti nevychází výhodně.



Obr. 19: Návrh tepelného čerpadla jeho energetický potenciál

2.6 Krbová vložka

Modelová domácnost je vybavena krbovou vložkou s výměníkem na vytápění podlahového topení a pro ohřev teplé vody.

Tabulka 7: Parametry krbové vložky

Instalovaný výkon	15,2 kW
Roční výroba	19,9 MWh
Dotace	-
Investice	-

Aby mělo porovnávání systému tepelného čerpadla (obr. 19) smysl, je potřeba pro ujasnění počítat s tím, že je dřevo kupované. Potřebné množství paliva na produkci potřebné energie dodané krbovou vložkou je uvedeno v rovnici (2.1). Pro zjištění cen daného paliva jsem použil (obr. 20). Zvolím velikost 30 cm, která se používá nyní a s momentální roční spotřebou paliva 11 m³ dojdou jednoduchým výpočtem (2.9) k tomu, kolik by stálo čistě palivo na jednu topnou sezónu.

$$1150 \times 11 = 12650 \text{ Kč} \quad (2.9)$$

Polínka/ štípaná/sypaná	smrk/borovice (syrové)	smrk/borovice (suché, polosuché)	bříza	buk
délka 50 cm	900 Kč/PRMs	1000 Kč/PRMs	1200 Kč/PRMs	1400 Kč/PRMs
délka 40 cm	950 Kč/PRMs	1050 Kč/PRMs	1250 Kč/PRMs	1450 Kč/PRMs
délka 33 cm	1000 Kč/PRMs	1100 Kč/PRMs	1300 Kč/PRMs	1500 Kč/PRMs
délka 30 cm	1050 Kč/PRMs	1150 Kč/PRMs	1350 Kč/PRMs	1550 Kč/PRMs
délka 25 cm	1100 Kč/PRMs	1200 Kč/PRMs	1400 Kč/PRMs	1600 Kč/PRMs

Obr. 20: Ceník palivového dřeva [37]

ZÁVĚR

Tato práce v první části seznámila čtenáře s používanými alternativními zdroji energie a možnostmi její akumulace pro rodinné domy a v druhé části byly aplikovány vybrané systémy na modelovou domácnost. Výsledkem praktické části je, že při nahrazování spotřeby elektřiny fotovoltaickou elektrárnou z obr. 17 vyplývají dvě možné iterace. Při pořízení této elektrárny s předpokladem konstantních cen elektřiny v dalších letech je další položkou ke zvážení vývoj cen bateriových uložišť, střídačů a dalších komponent. V případě, že se v horizontu 15 let sníží ceny komponent na polovinu, návratnost bude 10 let, pokud však ceny zůstanou stejné jako nyní, prodlouží to návratnost až na 16 let. Návratnost fotovoltaiky by také ovlivnilo, kdyby bylo umožněno prodávat nespotebvanou energii.

Při nahrazování stejného množství energie odebírané ze sítě větrnou elektrárnou o takovém výkonu z obr. 18 vyplývá, že při momentální spotřebě domácnosti návratnost investice vychází až na 37 let. Návratnost by se stejně jako u fotovoltaického systému zkrátila zvýšením spotřeby elektrické energie domácnosti, či zvýšením cen za elektrickou energii. Z grafu je patrné, že kdyby spotřeba elektřiny domácnosti odpovídala ročnímu výkonu větrné turbíny, návratnost by se pohybovala okolo 16 let.

Posledním bodem bylo nahrazování krbové vložky tepelným čerpadlem. Z obr. 19 je zřejmé, že v modelové domácnosti se za momentálních cen tuhého paliva nevyplatí krbovou vložku nahrazovat. I kdyby se potřeba tepla domácnosti snížila, nebo se zkombinovalo tepelné čerpadlo s krbovou vložkou pro dohřívání, stále by tyto systémy pro modelovou domácnost z ekonomického hlediska nevycházely výhodně. Přestože z pohledu energetického potenciálu vychází tepelné čerpadlo zkombinované s krbovou vložkou nejlépe, při zapojení cen za potřebné energie na provoz už tomu tak není. Tepelné čerpadlo se pro tuto domácnost za výše určených okolností z finančního hlediska nevyplatí, vyplatilo by se pouze pokud by se jednalo o ekologický záměr snížení emisí domácnosti.

Po zhodnocení výše zmíněných dat a informací pro modelovou domácnost nepovažuji za současné situace ani jednu z variant za relevantní. V případě umožnění prodávání přebytečné energie, bych zvolil fotovoltaickou elektrárnu, protože by přinášela zisk od 9 let provozu a tím by byly pokryty potřebné výdaje v průběhu životnosti.

Větrná elektrárna by byla reálným řešením, kdyby se jednalo o menší model, u kterého by nebyly příliš nákladné počáteční investice.

Lze konstatovat, že cíle práce byly splněny a nedostatkem je chybějící možnost aplikace fototermického systému na modelový dům. Případným navazujícím tématem by mohl být návrh malé větrné turbíny pro rodinný dům, protože z této práce vychází, že velké větrné elektrárny pro rodinné domy s nízkou spotřebou elektřiny se nevyplatí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KUSALA, Jaroslav. *Solární (fotovoltaické) články*. Online. CEZ. Solární energie. 2006. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>. [cit. 2024-03-08].
- [2] VOBOŘIL, David. *Fotovoltaické elektrárny - princip funkce a součásti, elektrárny v ČR*. Online. OENERGETICE. 2016. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fotovoltaicka-elektrarna-princip-funkce-a-soucasti>. [cit. 2024-03-08].
- [3] *Faktory, které ovlivňují výkon a efektivitu solárních panelů*. Online. , Energosolar. Energosolar. 2023. Dostupné z: <https://www.energosolar.cz/8-faktoru-ktere-ovlivnuji-vykon-solarnich-panelu>. [cit. 2024-01-25].
- [4] POSPÍŠIL, Jiří. *Solární energie*. Online. 2008. Dostupné z: <https://moodle.vut.cz/mod/folder/view.php?id=337676>. [cit. 2024-03-08].
- [5] KUSALA, Jaroslav. *Solární kolektory*. Online. CEZ. Solární energie. 2006. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>. [cit. 2024-03-08].
- [6] SIMOPT, S.R.O. *Svet energie*. Online. SIMOPT, S.R.O. Využití slunečního tepla. 2020. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie-pro-deti/slunecni-energie-pro-deti/vyuziti-slunecniho-tepla/solarni-system#&gid=1&pid=2>. [cit. 2024-01-25].
- [7] TOMČIAK, Ján. *Konstrukční principy slunečních kolektorů*. Online. 2010. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/solarni-kolektory/konstrukcni-principy-slunecnich-kolektoru>. [cit. 2024-03-08].
- [8] MATUŠKA, Tomáš. *Solární tepelné soustavy*. Online. 2012, 2018. Dostupné z: <https://profesis.ckait.cz/dokumenty-ckait/mp-1-6/mp-1-6-11/>. [cit. 2024-03-08].
- [9] DVOŘÁK, Stanislav. *Solární technologie: Co je lepší pro vaši domácnost, fotovoltaické panely nebo solární kolektory?* Online. Solární ohřev vody. 2024. Dostupné z: <https://solarni-ohrev-vody.cz/clanky/je-lepsi-fotovoltaika-nebo-solarni-kolektory>. [cit. 2024-03-08].
- [10] CLIMATOLOGY. *O tepelných čerpadlech*. Online. 2020. Dostupné z: <https://www.climalogy.com/cs/o-tepelnych-čerpadlech/>. [cit. 2024-02-13].
- [11] REMKO. *Princip tepelného čerpadla*. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.remko.cz/princip-tepelneho-čerpadla>. [cit. 2024-02-13].
- [12] IVT. *Princip tepelných čerpadel*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/princip-tepelnych-čerpadel>. [cit. 2024-02-13].
- [13] IVT. *Typy tepelných čerpadel*. Online. O tepelných čerpadlech. 2024. Dostupné z: <https://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-čerpadla-vzduch-vzduch>. [cit. 2024-02-13].
- [14] CTĚNICKÝ HÁJ. *Energeticky úsporné domy*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.ctenickyhaj.cz/cs/modro-zelene-bydleni/energeticky-usporne-domy>. [cit. 2024-03-09].
- [15] ČEJKA, Michal. *Energetické standardy budov v roce 2022*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.tvarchitect.com/clanek/energeticke-standardy-budov-v-roce-2022/>. [cit. 2024-02-13].

- [16] FEJTOVÁ, Aneta. *Vybrané faktory ovlivňující účinnost energeticky pasivních domů*. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Plzeň: ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA APLIKOVANÝCH VĚD, 2020.
- [17] *Energeticky úsporný dům: design. energeticky úsporný dům*. Online. Biathlonmordovia. 2023. Dostupné z: <https://biathlonmordovia.ru/cs/the-motor/energoeffektivni-dom-proektirovanie-energoberegayushchii-dom-passivnyi-dom/>. [cit. 2024-03-09].
- [18] *JAK FOUKANÁ IZOLACE ZLEPŠUJE CELKOVOU ENERGETICKOU BILANCI BUDOVY*. Online. Poctivá izolace. 2010. Dostupné z: <https://www.poctiva-izolace.cz/jak-foukana-izolace-zlepsuje-celkovou-energetickou-bilanci-budovy>. [cit. 2024-03-09].
- [19] *JAKÉ VLASTNOSTI JE DŮLEŽITÉ SLEDOVAT U TEPELNÝCH IZOLACÍ?* Online. PRVNÍ CHODSKÁ. Střešní krytiny a materiály pro střechy. 2015. Dostupné z: <https://www.chodska.cz/rady-a-tipy/jake-vlastnosti-je-dulezite-sledovat-u-tepelnych-izolaci-5.html>. [cit. 2024-03-09].
- [20] EPET. *Co je a jak funguje rekuperace tepla?* Online. 2021. Dostupné z: <https://www.epet.cz/rekuperace-tepla/>. [cit. 2024-03-09].
- [21] ALTREA. *CO JE TO REKUPERACE?* Online. 2024. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/co-je-to-rekuperace>. [cit. 2024-03-09].
- [22] MIKULOVÁ, Olga. *Současný pohled „hygieny“ na osvětlení vnitřních prostor, zejména pro pobyt dětí a mladistvých*. Online. 2020. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/svetlo/clanek/soucasny-pohled-hygieny-na-osvetleni-vnitrnich-prostor-zejmena-pro-pobyt-deti-a-mladistvych--4238>. [cit. 2024-03-09].
- [23] SMARTSWITCH. *7 TIPŮ PRO ÚSPORU ENERGIE POMOCÍ CHYTRÝCH ZAŘÍZENÍ*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.smart-switch.cz/blog/7-tipu-pro-usporu-energie-pomoci-chytrych-zarizeni/>. [cit. 2024-03-09].
- [24] EKOKUTIL. *Větrná turbína – základní rozdělení*. Online. 2024. Dostupné z: <https://ekokutil.cz/vetrna-turbina-princip-rozdeleni-popis/>. [cit. 2024-03-09].
- [25] ENKIDOO. *Přemýšlíte nad větrnou elektrárnou? Pro koho je vhodná, jak funguje a jak je to s návratností*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.enkidoo.cz/clanky/premyslite-nad-vetrnou-elektrarnou-pro-koho-je-vhodna-jak-funguje-a-jak-je-to-s-navratnosti>. [cit. 2024-03-09].
- [26] VOBOŘIL, David. *Větrné elektrárny - princip, rozdělení, elektrárny v ČR*. Online. 2015. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>. [cit. 2024-03-09].
- [27] EKOUSPORA. *Horizontální a vertikální turbíny*. Online. 2022. Dostupné z: <https://www.ekouspora.cz/vetrne-turbiny>. [cit. 2024-03-09].
- [28] VIESSMANN. *Možnosti skladování energie z fotovoltaiky*. Online. 2024. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/info-a-tipy-k-nakupi/moznosti-skladovani-energie-fotovoltaika.html>. [cit. 2024-03-10].
- [29] HRZINA, Pavel. *Akumulace elektřiny v budovách: základní parametry a technologie*. Online. 2020. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/akumulace-elektřiny/20292-akumulace-elektřiny-v-budovach-zakladni-parametry-a-technologie>. [cit. 2024-03-09].

- [30] BLÜMELOVÁ, Kristina Kadlas. *Pískové baterie mají potenciál ekologického a velmi efektivního způsobu skladování energie*. Online. 2022. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/poutaky/piskove-baterie-maji-potencial-ekologickeho-a-velmi-efektivniho-zpusobu-skladovani-energie_57085.html. [cit. 2024-03-10].
- [31] DREVORUBEC.CZ. *Objemová hmotnost dřeva*. Online. 2007. Dostupné z: <https://www.drevorubec.cz/c/22/objemova-hmotnost-dreva>. [cit. 2024-04-05].
- [32] LEDVINA, Petr. *Jaké emise CO₂ připadají na vyrobenou jednotku elektřiny dle typu elektrárny?* Online. 2021. Dostupné z: <https://www.veronica.cz/otazky?i=514>. [cit. 2024-04-05].
- [33] DREVOASTAVBY. *Savoniova větrná turbína je levná a jednoduchá*. Online. 2013. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/technicka-zarizeni/2596-savoniova-vetrna-turbina-je-levna-a-jednoducha>. [cit. 2024-03-09].
- [34] PLUGEON. *Vertikální větrná elektrárna vs. horizontální větrná elektrárna*. Online. 2023. Dostupné z: <https://www.plugeon.com/vertikalni-vetrna-elektrarna-x-horizontalni-vetrna-elektrarna/>. [cit. 2024-03-09].
- [35] EPET. *Pořízení domácí větrné elektrárny: Návrh investice je nečekaně rychlá*. Online. 2019. Dostupné z: <https://www.epet.cz/kdy-se-vam-vyplati-poridit-si-domaci-vetrnou-elektrarnu-/>. [cit. 2024-03-09].
- [36] SOLARMYWORLD. *INTEGRATION OF BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEMS INTO HYBRID MICROGRIDS AND USE OF LIFEPO4 TECHNOLOGY*. Online. 2023. Dostupné z: <https://solarmyworld.com.au/project/integration-of-battery-energy-storage-systems-into-hybrid-microgrids-and-use-of-lifepo4-technology/>. [cit. 2024-03-10].
- [37] *Ceník palivového dřeva*. Online. 2023. Dostupné z: <https://jihoceskepalivo.cz/cenik>. [cit. 2024-04-22].

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
$Q_{(1,2,3,4)}$	Energie	kWh
m	Hmotnost	kg
c	Měrná tepelná kapacita	J/kgK
ΔT	Rozdíl teplot	K

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Princip fotovoltaického jevu [1]	11
Obr. 2: Kombinovaný solární systém s doplňkovým ohřevem a nuceným oběhem [6].	13
Obr. 3: Plochý vakuový kolektor [8]	13
Obr. 4: Trubicový vakuový kolektor [9]	14
Obr. 5: Účinnost deskových a trubkových solárních kolektorů [10] (upraveno).....	15
Obr. 6: Princip tepelného čerpadla [10]	16
Obr. 7: Aspekty energeticky účinného designu rodinného domu [14]	17
Obr. 8: Body kooperace technických odvětví [15]	18
Obr. 9: Rekuperační schéma[20].....	20
Obr. 10: Savoniova turbína[33].....	22
Obr. 11: Princip odporových turbín[24]	22
Obr. 12: Princip vztlakových turbín[34]	22
Obr. 13: Horizontální vztlaková turbína[35].....	22
Obr. 14: Zapojení baterií pro domácí fotovoltaický systém[36].....	23
Obr. 15: Znázornění jednoho z řešení principu ukládání energie za slunných, teplých dnů a její využití k ohřevu radiátorů během chladných nocí[30].....	24
Obr. 16: Modelový dům	25
Obr. 17: Návratnost fotovoltaické elektrárny.....	28
Obr. 18: Návratnost větrné elektrárny.....	29
Obr. 19: Návratnost tepelného čerpadla jeho energetický potenciál.....	30
Obr. 20: Ceník palivového dřeva [37]	31

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Spotřeba elektřiny.....	26
Tabulka 2: Celková spotřeba energie	26
Tabulka 3: Podíl zdrojů na potřebách energie	27
Tabulka 4: Parametry fotovoltaické elektrárny	27
Tabulka 5: Parametry větrné elektrárny	29
Tabulka 6: Parametry tepelného čerpadla	30
Tabulka 7: Parametry krbové vložky.....	31