ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ŘÍDÍCÍ TECHNIKY

# BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

## Řídicí systémy pasivních nízkoenergetických domů

Praha 2008 Vít Janeba

České vysoké učení technické v Praze, fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky | Školní rok: 2006/2007

# Zadání bakalářské práce

Student: Vít Janeba

Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: Řídicí systémy pasivních nízkoenergetických domů

## Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s principy, kterých využívají nízkoenergetické pasivní domy.
2. Shromážděte informace dostupné v literatuře a na interentu, které se týkají funkce řídicích systémů pasivních domů.
3. Jednotlivé řídicí systémy porovnejte z hlediska funkce řídicí jednotky, měřených a akčních veličin a způsobů komunikace.

***Seznam odborné literatury:*** Dodá vedoucí práce

**Vedoucí bakalářské práce:** Doc. Ing. Petr Horáček, CSc.

**Datum zadání bakalářské práce:** zimní semestr 2006/07

**Termín odevzdání bakalářské práce:** 15. 8. 2007

Prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
**vedoucí katedry**

L.S.

v zast.

Prof. Ing. Zbyněk Škvor, CSc.
**děkan**

V Praze, dne 5. 3. 2007

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

V Praze, dne 12.6.2008 .....

# Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Doc. Ing. Petru Horáčkovi, CSc. za odborné vedení a jeho pomoc při zpracování práce.

# Abstrakt

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s principy, které využívají nízkoenergetické pasivní domy a tyto poznatky následně zužitkovat při rešerši existujících systémů pro jejich řízení. Při rešerši byla prohledána celá řada zdrojů, ale pro čistě pasivní domy nebyly nalezeny žádné detailní zmínky o konkrétních systémech jejich řízení, řídících jednotkách, měřených a akčních veličinách. Pro nízkoenergetické domy bylo nalezeno 5 řídicích systémů, které byly následně analyzovány a porovnány z hlediska použité komunikace, měřených veličin, zařízení, které systémy řídí a detailů použitého systému. Tyto řídící systémy by mohly být nasazeny i v pasivních domech, protože zmiňované nízkoenergetické domy byly stavěny podle zásad pasivní výstavby a využívali většinu principů pasivních domů.Při závěrečném srovnání výsledků se jako nejvhodnější jevil řídící systém společnosti WebBrick, především díky jeho propracovanosti.

# Abstract

The aim of this bachelor thesis was to get familiar with principles which are used by low-energy passive houses and apply this knowledge in background research of existing systems of their control. During the background research a lot of sources was searched but for pure passive houses no detailed remarks about their concrete control systems, main control units and action and measured values were found. For low-energy houses 5 control systems were found which were subsequently analyzed and compared in terms of used communication, measured values, controlled appliances and details of the control system. These control systems could be easily applied also in passive houses, because the mentioned low-energy houses were built according to the standards of passive house construction and they used most of the principles of passive houses. In final comparison as the best choice appeared control system of WebBrick Company mainly because it was truly sophisticated.

# Obsah


1 Úvod ..... 2
2 Pasivní dům ..... 3
2.1 Základní informace ..... 3
2.1.1 Pasivní dům jako jedna z variant nízkoenergetického domu ..... 3
2.1.2 Stručná definice pasivního domu ..... 4
2.1.3 Trochu z historie a vývoje pasivního domu ..... 5
2.1.4 Aktuální norma ČSN týkající se pasivního domu ..... 6
2.1.5 Charakteristické výhody pasivního domu ..... 6
2.2 Principy pasivního domu ..... 6
2.2.1 Základní principy pasivního domu ..... 6
2.2.2 Poloha pasivního domu ..... 7
2.2.3 Tvar pasivního domu ..... 7
2.2.4 Vytápění a větrání pasivního domu ..... 8
2.2.4.1 Solární zisky ..... 8
2.2.4.2 Energie z přírody ..... 8
2.2.4.3 Řízené větrání ..... 8
2.2.4.4 Snížení tepelných ztrát z větrání rekuperací tepla ..... 8
2.2.4.5 Zpětné získávání vlhkosti ..... 9
2.2.4.6 Zemní výměník tepla ..... 9
2.2.5 Úsporné spotřebiče ..... 10
2.2.6 Tepelné izolace ..... 10
2.2.6.1 Tepelné mosty ..... 10
2.2.6.2 Izolace pláště pasivního domu ..... 11
2.2.6.3 Izolace střechy ..... 11
2.2.6.4 Izolace stěn ..... 11
2.2.6.5 Okna a dveře ..... 11
2.2.7 Utěsnění pasivního domu ..... 12
2.2.7.1 BlowerDoor test ..... 12
3 Řídicí systémy pasivních a nízkoenergetických domů ..... 13
3.1.1 Vhodné řízení ..... 13
3.1.2 Postup při hledání informací o řídicích systémech pasivních domů ..... 13
3.1.3 Použitá klíčová slova ..... 13
3.1.4 Výsledky hledání ..... 14
3.1.5 Rozbor nalezených článků s ohledem na řízení. ..... 14
3.1.5.1 Nízkoenergetický bungalow v Anglii ..... 14
3.1.5.2 Nízkoenergetický inteligentní dům na Slovensku ..... 15
3.1.5.3 Demonstrační dům společnosti BASF ..... 16
3.1.5.4 Centrální stanice inteligentního domu. ..... 18
3.1.5.5 Řízené větrání v nízkoenergetickém domě pro úsporu energie za použití komunikační technologie power line jako domácí sítě. ..... 20
3.2 Tabulka srovnání jednotlivých řídicích systémů ..... 22
4 Závěrečné zhodnocení výsledků ..... 24

# 1 Úvod

Během relativně krátké doby posledních 10-15 let sledujeme velmi rychlý nárůst cen všech běžně dostupných energií daný růstem těžebních, výrobních i distribučních nákladů.

Zvýšená pozornost se rovněž věnuje omezování devastace životního prostředí z důvodů těžby energetických surovin, výroby energie a jejího rozvodu. Toto se v konečném důsledku musí také projevovat do růstu cen energií. Zájem na udržení a zlepšování kvality životního prostředí ve všech jeho aspektech pro budoucí generace nelze opomíjet.

V prvé polovině 90. let byl v souvislosti s útlumem těžkého průmyslu a jeho restrukturalizací zřejmý trend snižování spotřeby energie. Z tohoto byly vyvozovány chybné závěry, jejichž nositeli byli především ekologické iniciativy, že tento trend je trvalý. Krátká doba však ukázala, že je nutno brát v úvahu růst poptávky po energiích, především v té nejkomfortnější podobě, tedy energii elektrické.

Je tedy nutno hledat postup, který umožní dostat do dlouhodobé rovnováhy poptávku a nabídku po energiích při plnění podmínky trvale udržitelného rozvoje. Toho lze dosahovat třemi cestami:

1) Zvyšování efektivnosti tradiční výroby a distribuce energie (jaderná energie, vodní energie, plyn, ropa, pevná paliva)
2) Rozšiřování netradičních zdrojů energie (slunce v různých formách, vítr, fotovoltaika, spalování biomasy, alkoholu, rostlinných olejů, geotermální energie)
3) Zvyšování efektivnosti využívání energií (tedy jejich úsporami) při stejných výstupních efektech.

Principy spojené s bodem 3 a 2 lze identifikovat v řešení úspor energie, které je v současnosti často zmiňované jako nízkoenergetický, popřípadě pasivní dům. Na tomto místě je nezbytné uvědomit si, že převážnou část spotřeby energie v domácnostech je nutno připsat na vrub vytápění a přípravě teplé užitkové vody (dále jen TUV).

Tato práce si klade za cíl přispět k řešení současných i budoucích problémů, především na poli spotřeby a využití energie shromážděním, utříděním, porovnáním a případně i posouzením v literatuře a na internetu dostupných informací o principech, realizaci a zkušenostech získaných v projekci, výstavbě a užívání experimentálních nízkoenergetických (především pasivních) domů. Zvláštní pozornost byla věnována použitým řídicím systémům jako nástrojům optimalizace, zvýšení efektivnosti spotřeby a vůbec hospodaření s energiemi v těchto domech.

Práce je dále rozdělena do dvou základních okruhů:

Pasivní dům (řízený systém)

Popis principu a vývoje pasivního domu je nutný k pochopení systému, který je nutno řídit.

Regulace vytápění, větrání, osvětlení (řídicí systém)

Řídicí systém udržuje požadované vnitřní parametry tepelné, vlhkostní a další parametry (např. obsah CO2) v budově. Tyto parametry mohou být podle požadavku i závislé na čase, popř. na parametrech vnějšího prostředí (především teploty a jejích změn).

# 2 Pasivní dům

V podkapitole jsou stručně shrnuty informace vysvětlující základní principy, charakteristiky a parametry pasivního domu. Ve druhé podkapitole jsou pak zmíněny prostředky, jakými je těchto charakteristik dosahováno. Podkapitoly čerpají hlavně z litratury [1,3,4].

## 2.1 Základní informace

### 2.1.1 Pasivní dům jako jedna z variant nízkoenergetického domu.

Z hlediska normy jsou budovy s nízkou energetickou náročností děleny na domy nízkoenergetické a pasivní. Hraniční hodnotou pro nízkoenergetický dům je v České republice 50 kWh/(m2a) a pro pasivní dům 15 kWh/(m2a). V zahraniční literatuře se objevuje i termín nulový dům (dům s nulovou spotřebou energie). Takto výrazného snížení spotřeby energie však již nelze dosáhnout pomocí dalšího zlepšení tepelné izolace, ale například navýšením plochy fotovoltaických panelů. Za nulové domy jsou považovány stavby se spotřebou tepla menší než 5 kWh/(m2a). Dalším navyšováním vnějších tepelných zisků lze dosáhnout i takového stavu, kdy je možné kompletně pokrýt potřebu domu, a ještě dodávat elektrickou energii nebo teplo do rozvodné sítě. Pro takovéto stavby se používá termín „dům s přebytkem tepla“, v zahraničí literatuře „Energie-plus“.

Rozdělení budov z hlediska energetické náročnosti přesněji popisuje následující tabulka:[1]

| domy běžné ve 70.-80. letech | současná novostavba | nízkoenergetický dům | pasivní dům | nulový dům, dům s přebytkem tepla |
|---|---|---|---|---|
| **charakteristika** | | | | |
| zastaralá otopná soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se | klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna, konstrukce na úrovni požadavků normy | otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, řízené větrání | pouze teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce | parametry min. na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů |
| **potřeba tepla na vytápění [kWh/(m$^2$a)]** | | | | |
| většinou nad 200 | 80 - 140 | méně než 50 | méně než 15 | méně než 5 |

## 2.1.2 Stručná definice pasivního domu

Pojmem pasivní dům označujeme budovu s komfortním vnitřním prostředím v zimním i v letním období a s natolik nízkou spotřebou tepla na vytápění, že nepotřebuje standardní vytápěcí systémy. Pasivní v tomto případě znamená, že většina tepla potřebná k vytápění této budovy pochází z pasivních zisků, a to buď externích, jako sluneční záření procházející okny, a nebo interních, jako je tepelná emise spotřebičů a obyvatelů. Díky tomu spotřeba tepla na vytápění objektů tohoto typu nepřesáhne 15 kWh/(m$^2$a). Z hygienických důvodů je instalované řízené větrání se zpětnou rekuperací tepla, které může být využito i pro dotápění vnitřních prostor během chladného období. Ve srovnání se standardními budovami je potřeba tepla na vytápění objektu snížena až o 80 procent. Pasivní budovy vyžadují i minimalizaci ostatních potřeb energií v objektu, například potřebu elektrické energie na provoz domácích spotřebičů. Konečná spotřeba energií na vytápění, větrání, přípravu TUV, i provoz domácích spotřebičů nepřesahuje 42 kWh/(m$^2$a).

### 2.1.3 Trochu z historie a vývoje pasivního domu

Koncept pasivního domu nastínil již v roce 1988 Dr. Wolfgang Feist během vědeckého pobytu na univerzitě v Lundu (Švédsko) při brainstormingu s prof. Bo Adamsonem: "Je třeba využít potenciálu vyplývajícího z možností úspor u investičních nákladů díky vylepšené technice energetických úspor". V rámci výzkumného projektu, financovaného spolkovou zemí Hesensko s názvem „Pasivní domy", byly definovány vědeckotechnické základy, díky kterým bylo již v říjnu 1990 započato se stavbou prvního pasivního domu. Je to řadový dům se čtyřmi jednotkami v darmstadtské městské části Kranichstein, který je obývaný již od roku 1991. Již od počátku byl projekt monitorován řadou vysoce přesných vědeckých měření. Výsledky prokázaly, že i v chladném klimatu střední Evropy lze stavět budovy s velmi nízkou spotřebou energie, bez použití tradičních systémů vytápění, přesto však s velmi komfortním vnitřním prostředím. Průměrné hodnoty spotřeby topného tepla naměřené během 15 let jsou na úrovni kolem 10 kWh/($m^2$a), a splňují tedy normu pasivního domu. V roce 1995 navštívil tento pasivní dům americký odborník v oblasti energií Amory Lovins a dal podnět k tomu, aby se přezkoumala vhodnost úspěšných postupů uplatňovaných v rámci tohoto pilotního projektu v praxi, a umožnila se tím širší aplikace.

V roce 1996 zahájilo v Německu činnost „Profesní sdružení levných pasivních domů". Hlavní myšlenkou bylo, že díky ventilaci stavby ji lze zároveň i vytápět. Čerstvý vzduch je třeba ventilací přivádět do každého obytného prostoru a tento vzduch může zároveň přenášet potřebné teplo. Bude-li konstrukce budovy z tepelného hlediska provedena tak kvalitně, že takto přiváděné teplo bude stačit k dosažení požadované tepelné pohody, pak bude další systém pro rozvod tepla zbytečný. Toto je také základní princip pasivního domu. Díky vysoce kvalitní tepelné izolaci a ventilaci vnitřních prostor je další investice do tradičního systému vytápění zbytečná. Již v roce 1997 byly realizovány první projekty sídlištního typu. Jednalo se o sídliště pasivních domů v rámci ekonomické sociální bytové výstavby ve Wiesbadenu a u Kolína. Také tyto projekty prokázaly správnost této myšlenky a zaznamenaly velkou úspěšnost.

Následoval rychlý rozvoj této technologie v Rakousku, Německu a Švýcarsku. V roce 2002 byl v uvedených zemích počet registrovaných pasivních domů celkem 4000. Jen v Německu se počet registrovaných pasivních domů každý měsíc zdvojnásobí. Do roku 2010 činí prognóza 60 tisíc registrovaných pasivních domů.

V současné době prožívají pasivní domy v Evropě obrovský boom. I v České Republice se dostávají do popředí zájmu nejen investorů, ale hlavně i výrobců materiálů, architektů, projektantů a velkých stavebních firem. V Rakousku a Německu získali již pasivní domy výrazný podíl na počtu novostaveb. Velký podíl mají také rekonstrukce staveb za použití prvků a principů pasivních domů. V obou těchto zemích lze pasivní domy certifikovat u Passivhaus Institutu. K získání certifikátu je třeba po ukončení stavby doložit výpočet provedený programem Passivhaus Projektierung Paket (PHPP), veškerou projektovou dokumentaci včetně dokumentace

použitých stavebních prvků a materiálu a také protokol o měření neprůvzdušnosti (BlowerDoor test). Certifikát opravňuje v některých spolkových zemích k získání dotace nebo jiné finanční podpory.

### 2.1.4 Aktuální norma ČSN týkající se pasivního domu

Pasivní dům popisuje norma ČSN EN 730540-2:2007 o tepelné ochraně budov následovně:[2]

"Pasivní domy jsou budovy s roční měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující 15 kWh/($m^2$a). Takto nízkou energetickou potřebu budovy lze krýt bez použití obvyklé otopné soustavy, pouze se systémem nuceného větrání obsahujícím účinné zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu (rekuperací) a malé zařízení pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot. Navíc musí být dosaženo návrhových teplot vnitřního vzduchu po provozní přestávce v přiměřené (a v projektové dokumentaci uvedené) době. Současně nemá u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev TUV a el. energie pro spotřebiče) překračovat hodnotu 42 kWh/($m^2$a).... "

### 2.1.5 Charakteristické výhody pasivního domu

Koncepce pasivního domu přináší celou řadu nesporných výhod. Hlavní výhodou je extrémně nízká spotřeba tepla k vytápění domu. Další výhodou je řízené větrání, které přináší stálý přívod čerstvého vzduchu, ale netvoří průvan. Pasivní dům se zemním výměníkem tepla je schopen zajistit příjemné teploty jak v zimě tak v létě díky možnosti chlazení v teplém období. Kvalitní tepelná izolace pasivního domu umožňuje velmi dobrou tepelnou stabilitu, a dům tak neztrácí teplotu ani při výpadku elektřiny. Celkově přináší pasivní dům velkou tepelnou pohodu místností a díky tomu vyšší komfort života.

## 2.2 Principy pasivního domu

### 2.2.1 Základní principy pasivního domu

Celkově lze shrnout základní principy vedoucí k návrhu a realizaci dobrého pasivního domu asi takto:

1) Maximální využívání netradičních zdrojů energie a tepelných ztrát technických zařízení budov (domácí spotřebiče).
2) Používání standardních zdrojů energie pro vytápění a chlazení pouze na doladění tepelné bilance budovy.
3) Omezování na minimum tepelných ztrát budovy
4) Věnování zvláštní pozornosti větrání, které musí zajistit přiměřenou výměnu vzduchu s minimálními, tepelnými ztrátami v chladném období a naopak umožnit vhodné ochlazování interiéru v letním období.

## 2.2.2 Poloha pasivního domu

Již samotná správná volba polohy pasivního domu může značně snížit energetickou náročnost výsledného projektu. Pro správné umístění pasivního domu platí několik důležitých doporučení. Nejideálnější je umístění domu při severní a východní hranici pozemku tak, aby jižní a západní průčelí zůstalo nezakryto a mělo co největší solární zisk. Dále je dobré umístit dům spíše v závětří, aby fasáda domu nebyla příliš ochlazována. Také poloha jednotlivých místností uvnitř domu hraje jistou roli. Obytné místnosti by měly být situovány na osluněnou stranu k jihu, zatímco ostatní místnosti, jako jsou vstupní partie, šatny a komunikace, na stranu odvrácenou. Koupelny a další mokré provozy by měly být situovány nad sebou, nejlépe na jedinou stoupačku.

## 2.2.3 Tvar pasivního domu

Velký vliv na energetické vlastnosti pasivního domu má jeho tvar. Platí, že již správný návrh umožňuje snížit energetickou náročnost až o 30%. Čím jednodušší a kompaktnější je tvar pasivního domu, tím nižší je jeho energetická náročnost. Při návrhu by mělo být bráno v potaz, že každý zbytečný výstupek, či roh přináší energetické ztráty a problémy tepelných mostů. Důležitý je poměr plochy ochlazovaných stěn k objemu budovy, který by měl být co nejmenší. Z tohoto pohledu by byl nejvýhodnější dům ve tvaru koule, což není snadno realizovatelné, takže se pasivní domy objevují nejčastěji ve tvaru kvádru s delší stranou orientovanou k jihu pro největší solární zisk (Obr 2.2.3).

**Obr. 2.2.3 Typický vzhled pasivního domu[1]**

## 2.2.4 Vytápění a větrání pasivního domu

### 2.2.4.1 Solární zisky

Jedním z principů, kterým pasivní domy získávají energii k pokrytí části potřeb na vytápění, je solární zisk z oken. Zasklení okna musí dostatečně propouštět sluneční záření, které ohřívá interiér domu, avšak musí mít i dobré izolační vlastnosti, aby zabraňovalo prostupu tepla ven z domu, a získané teplo se uvnitř akumulovalo. Pro teplé období roku je však také nutné zajistit zastínění okna a tím snížit narůstaní teploty uvnitř domu.

### 2.2.4.2 Energie z přírody

Pro snížení nároků na elektrickou energii využívají často pasivní domy obnovitelné zdroje energie. Pro ohřev teplé užitkové vody je vhodné použít solární kolektory a nebo tepelné čerpadlo. Teplá užitková voda se dá potom dále použít k dohřívaní vzduchu k vytápění objektu.

### 2.2.4.3 Řízené větrání

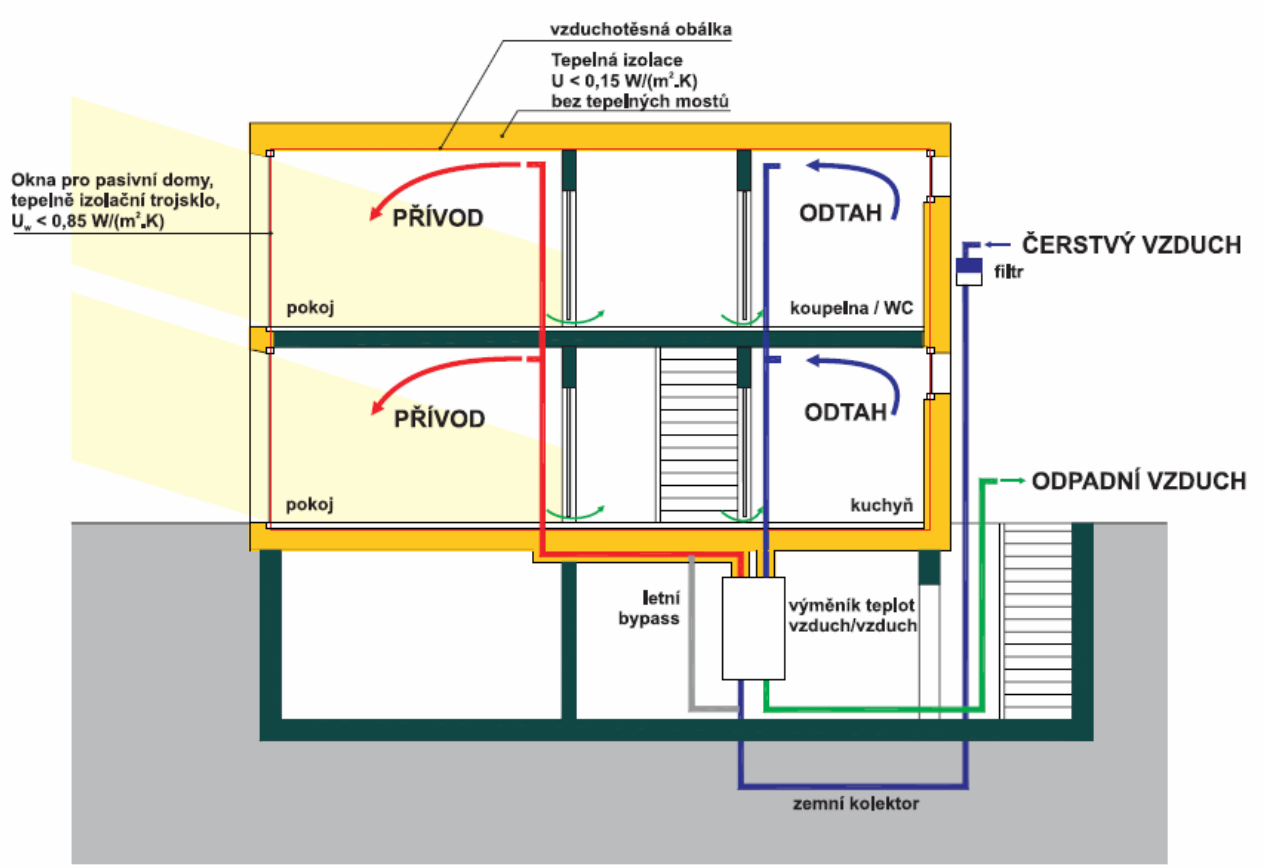
Protože je pasivní dům velmi kvalitně utěsněný a větrání pomocí oken neumožňuje zpětné získání tepla z odváděného vzduchu, mají pasivní domy instalované řízené větrání s možností zpětného získávaní tepla. Větrací jednotka stále přivádí čerstvý vzduch a odvádí odpadní vzduch a přebytečnou vlhkost z interiéru.

### 2.2.4.4 Snížení tepelných ztrát z větrání rekuperací tepla

Tepelné ztráty z větrání snižuje systém teplovzdušného vytápění s rekuperací. Větrací jednotka nasává z vnějšího prostředí čerstvý vzduch a přes filtr, který ho zbavuje škodlivin, ho přivádí do rekuperační jednotky. V rekuperační jednotce (Obr. 2.2.4.4-1) se čerstvý přívodní vzduch ohřívá ve výměníku tepla pomocí teplého odpadního vzduchu, který je odváděn pryč z místností. Účinnost takovéto rekuperační jednotky může být až 95%. Čerstvý přívodní vzduch je tedy následně třeba ohřát už jen o zbylých 5% což i při vnějších teplotách okolo bodu mrazu znamená ohřát vzduch jen o několik stupňů.[3] Následný ohřev vzduchu může být prováděn buď elektrickým proudem a nebo teplovodně, například ze slunečních kolektorů. Díky přítomnosti filtrace ve větracím procesu je uvnitř domu neustále čerstvý vzduch, který je zbaven pylu, prachu a dalších nečistot. Stálý provoz větrací jednotky s sebou často přináší také

**Obr. 2.2.4.4-1 Rekuperační jednotka pro pasivní domy, DUPLEX RB[3]**

potíž s hlukem, a proto je třeba větrací jednotku vhodně umístit, například do technické místnosti a nebo do podhledů na WC. Aby se zamezilo přenosu hluku přes větrací potrubí je nutné použít akustické tlumiče. V letních měsících lze pomocí větrací jednotky i chladit, prochází-li vzduch před vstupem do větrací jednotky zemním výměníkem tepla, kde se ochlazuje od chladnější půdy, která má v určité hloubce již stálou teplotu.




**Obr. 2.2.4.4-1 Schéma zapojení rekuperační jednotky v pasivním domě[4]**

### 2.2.4.5 Zpětné získávání vlhkosti

Větrací jednotka stálým odvodem vzduchu z pasivního domu odvádí také přebytečnou vlhkost. To však může v zimních měsících při teplotách pod bodem mrazu přinášet problém poklesu relativní vlhkosti v interiéru. Při intenzivnějším dohřívání chladného vzduchu, který již sám o sobě obsahuje málo vlhkosti, dochází k jeho dalšímu vysoušení. Z tohoto důvodu umožňují některé větrací jednotky zpětné získávání vlhkosti z odpadního vzduchu.Čerstvému přívodnímu vzduchu tak předávají nejen teplo, ale i vlhkost.

### 2.2.4.6 Zemní výměník tepla

Zemní výměník tepla dále zlepšuje tepelnou pohodu pasivního domu. Jedná se o potrubí uložené v zemi, přes které se nasává čerstvý vzduch do větrací jednotky. V zimě se využívá vyšší teploty půdy než vzduchu, a díky tomu se čerstvý vzduch

předehřívá a není nutné ho intenzivně dohřívat. Zemní výměník také řeší problém namrzání desek rekuperátoru. Při extrémně nízkých venkovních teplotách je totiž odváděný vzduch rychle ochlazen, může dojít k tvorbě kondenzátu a kvůli nízké teplotě i k jeho mrznutí. Zemní výměník čerstvý vzduch předehřívá na teplotu nad bodem mrazu, a proto k namrzání docházet nemůže. Naopak v létě, kdy je půda chladnější než vzduch, lze zemní výměník využít k ochlazování přívodního vzduchu, a tím i chlazení interiéru.

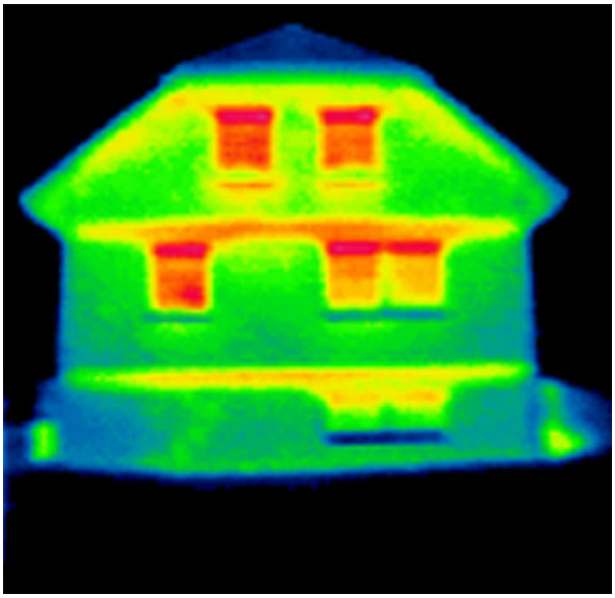
## 2.2.5 Úsporné spotřebiče

Aby byl pasivní dům opravdu úsporným řešením, je třeba i jednotlivé spotřebiče vybírat s ohledem na energetickou šetrnost. Výběrem vhodných spotřebičů lze snížit energetickou náročnost až o polovinu. Pro pasivní dům je proto třeba volit spotřebiče s energetickou třídou A nebo A+ a používat úsporné zářivky. Vhodné je také volit spotřebiče, které spotřebovávají málo energie ve stand-by režimu, který je umožněn například u televize či DVD přehrávače. Dobré je volit spotřebiče, u kterých lze stand-by režim úplně vypnout. Pokud dům využívá efektivní zdroj teplé užitkové vody, jako například sluneční kolektory nebo tepelné čerpadlo, je vhodné připojit spotřebiče, jako myčku nádobí a pračku, přímo na přívod teplé vody, což umožní snížit dohřev vody ve spotřebiči.

## 2.2.6 Tepelné izolace

### 2.2.6.1 Tepelné mosty

Při konstrukci pasivního domu je třeba eliminovat případné tepelné mosty. Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází ke zvýšenému tepelnému toku. Jedná se o vedení tepla materiálem s menší izolační schopností a nebo o proudění vzduchu.[5] Tímto místem uniká teplo. V interiéru má nižší teplotu než jeho okolí a v exteriéru naopak vyšší. Proto je možné tato místa pozorovat například na snímku z infrakamery – termogramu (Obr. 2.2.6.1).[6] Nejen, že tepelné mosty způsobují ztráty tepla, ale také na těchto chladnějších místech může kondenzovat vodní pára, která umožňuje růst plísní. Tepelné mosty většinou vznikají ve styku dvou různých konstrukcí tzv. tepelné vazby, například kolem osazení okna. Dalšími typy jsou tepelné mosty bodové (průnik tyčové konstrukce) či geometrické například v místech změny průběhu konstrukce (roh místnosti). Tepelné mosty lze eliminovat dodržením konstrukčních a



**Obr. 2.2.6.1 Snímek z infrakamery, patrné tepelné mosty nad okny (červená místa)[6]**

návrhových postupů: co nejméně přerušovat izolační vrstvy (v případě přerušení použít materiál s co nejmenším součinitelem tepelné vodivosti), spáry v izolační vrstvě překrývat další vrstvou a při návrhu domu využívat vhodné geometrické tvary (oblouk a tupý úhel).

#### 2.2.6.2 Izolace pláště pasivního domu

Jedním z hlavních principů pasivního domu je použití silné vrstvy tepelné izolace k docílení co nejmenších tepelných ztrát objektu. Tepelná izolace chrání celý vytápěný vnitřní prostor. Kvalitní izolace také zajišťuje vysokou teplotu vnitřních konstrukcí domu, tudíž není potřeba je dále ohřívat a malý rozdíl teploty vzduchu a konstrukcí dále zlepšuje tepelnou pohodu. V letních měsících izolace naopak umožňuje uvnitř domu snadno udržet chladnější vzduch.

#### 2.2.6.3 Izolace střechy

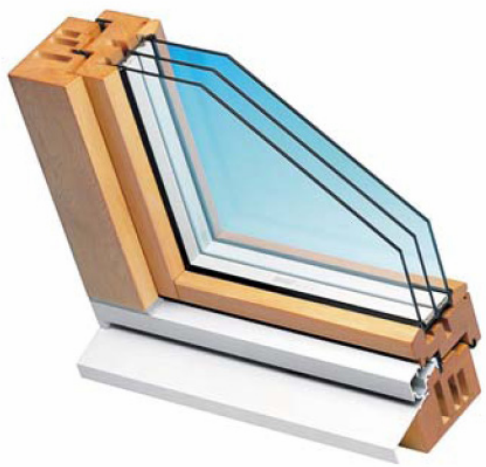
Izolace střechy pasivního domu by měla dosahovat součinitele prostupu tepla nižšího než 0,12 W/(m$^2$K).

#### 2.2.6.4 Izolace stěn

Obvodové stěny pasivního domu by měli být izolovány tak, aby součinitel prostupu tepla byl nižší než 0,15 W/(m$^2$K). Při použití klasických izolačních materiálů jako například minerálních a skelných vat, to znamená přibližně 200 – 400 mm tloušťku izolace.

#### 2.2.6.5 Okna a dveře

U pasivních domů je třeba docílit co nejmenších ztrát výplněmi oken. Z tohoto důvodu musí být součinitel prostupu tepla pro okna co nejnižší. Zasklení okna musí však také umožňovat dostatečně vysoké tepelné zisky. Způsob osazení okna a skla do rámu musí eliminovat tepelné mosty vznikající v těchto spojích. Proto se okna neosazují do zdiva, ale přímo do vrstvy tepelné izolace. Pro zasklení pasivních domů se používají okna s trojsklem vyplněná argonem nebo kryptonem (Obr. 2.2.6.5) a součinitel prostupu okna včetně rámu v zabudovaném stavu by měl být nižší než 0,85 W/(m$^2$K).



**Obr. 2.2.6.5 Profil okna s trojsklem[6]**

## 2.2.7 Utěsnění pasivního domu

Pro správnou funkci větrání v pasivním domě je třeba, aby byl obvodový plášť domu dokonale vzduchotěsný. Toho lze docílit kvalitním provedením všech detailů konstrukce a použitím speciálních lepících pásek. Důležité je správné řešení osazení oken a styku všech konstrukcí, které je vhodné přelepovat těsnící páskou nebo fólií. Kvalitní utěsnění také zabraňuje únikům tepla a prostupu vlhkosti a její šíření v konstrukci.

### 2.2.7.1 BlowerDoor test

K otestovaní správného utěsnění budovy slouží BlowerDoor test, při kterém je do dveří budovy umístěno specielní zařízení s velkým větrákem (Obr. 2.2.7.1), které budovu buď nafukuje, nebo z ní naopak vzduch odsává. Výsledkem měření je hodnota $n_{50}$. Tato hodnota udává kolikrát se netěsnostmi vymění celý objem vzduchu v měřeném objektu za jednu hodinu při přetlaku a nebo podtlaku 50 Pa. Tato hodnota by měla být pro pasivní domy nižší než 0,6 $h^{-1}$ podle kritérií Passivhausinstitutu Darmstadt.[7]

**Obr. 2.2.7.1 Umístění testovací jednotky BlowerDoor ve dveřích objektu[7]**

# 3 Řídicí systémy pasivních a nízkoenergetických domů

Tato kapitola shrnuje poznatky o řídicích systémech pasivních a nízkoenergetických domů. První podkapitola přináší přehled informací získaných z článků týkajících se řídicích systémů. Druhá podkapitola porovnává jednotlivé řídicí systémy a jejich pro a proti.

### 3.1.1 Vhodné řízení

Pro plné využití všech výhod pasivního domu je třeba, aby byl objekt kvalitně řízen za účelem co největší energetické efektivity a snížení tepelných ztrát. V pasivním domě by bylo vhodné řídit následující systémy:

1) Větrání
2) Rekuperace
3) Topení
4) Zvlhčování vzduchu
5) Inteligentní zhasínaní světel
6) Regulace zastínění oken
7) Inteligentní vypínaní spotřebičů se stand-by módem

### 3.1.2 Postup při hledání informací o řídicích systémech pasivních domů

Pro vyhledávání článků týkajících se řídicích systémů nízkoenergetických a pasivních domů bylo použito internetového vyhledávače Google a jeho modifikace Google Scholar. Dále bylo využito vyhledávání v článcích a časopisech Státní technické knihovny a služeb Virtuální polytechnické knihovny. Bylo také využito služeb knihovny Dánské technické univerzity. Neinternetová literatura týkající se přímo řídicích systémů pasivních a nízkoenergetických domů v anglickém nebo českém jazyce zatím neexistuje. Objevují se jen publikace týkající se převážně stavebně technického a konstrukčního řešení těchto domů.

### 3.1.3 Použitá klíčová slova

Vyhledávací pokusy byly provedeny s řadou klíčových slov typu „control", „plc", „communication", „passive house", „energy efficient", „low energy house", „components", „control system", „control equipment", „x-10", „ZigBee". Při vyhledávání byly použity kombinace těchto klíčových slov. Nejvíce se nakonec osvědčila velmi obecná kombinace klíčových slov „control system" AND „passive house" a kombinace „control system" AND „low energy house". První kombinace poskytla přibližně 900 výsledků a druhá přibližně 800 výsledků. Přibližně 20% těchto článků bylo více relevantních zadanému problému. Všechny tyto články byly dále

prozkoumány, zdali se zmiňují o konkrétním použitém řídicím systému a dalších detailech řízení.

### 3.1.4 Výsledky hledání

Pro čistě pasivní domy nebyl bohužel nalezen žádný článek, který by se přímo zmiňoval o konkrétním řídicím systému. Články se většinou zmiňovaly o řízení jen velmi okrajově a neobsahovaly pro tuto práci téměř žádné využitelné informace. Většina jich se týkala detailního konstrukčního a stavebního řešení daných domů, použitých rekuperačních jednotek a podrobného měření nároků na elektrickou a tepelnou energii a testů, typu BlowerDoor test, které jsou nutné pro certifikaci pasivního domu například u Passivhaus Institutu. Ani výrobci jednotlivých rekuperačních systémů pro použití v pasivních domech se o jejich konkrétním řízení a použitých čidlech nezmiňují a úzkostlivě si toto know-how chrání. Cílem této práce nebylo analyzovat řízení rekuperační jednotky a vytápění, ale řídicí systém celého domu, který umožňuje další energetické úspory a dokáže dále zlepšit tepelnou pohodu vnitřních prostor. Pro nízkoenergetické domy byla situace o něco lepší, bylo nalezeno 5 článků, které se alespoň detailněji zmiňují o použitém řízení.

### 3.1.5 Rozbor nalezených článků s ohledem na řízení.

#### 3.1.5.1 Nízkoenergetický bungalow v Anglii[8]

Jedná se o projekt nízkoenergetického bungalowu v Anglii o rozloze 230 čtverečních metrů, který využívá mnoha z principů pasivního domu. Je správně situován dle zásad pasivního domu a i vnitřní místnosti jsou správně umístěny. Využívá pasivních solárních zisků z velkých kvalitních dvojitých oken směřujících k jihu a západu. K severu směřují pouze malá okna. Je dobře izolován 200mm vrstvou izolace ze skelných vláken a polystyrénovou izolací základní desky. Tento dům je vytápěný několika malými inteligentními elektrickými akumulačními kamny, která pracují na levný noční proud. Dále využívá řízeného větrání a rekuperační jednotky. K osvětlení jsou použity úsporné zářivky.

Pro řízení tohoto domu je použit osobní počítač který komunikuje s zařízeními standardu X-10.

X-10 je označení pro mezinárodní otevřený standard vyvinutý v roce 1975, který umožňuje komunikaci mezi zařízeními v domácí automatizaci přímo po napájecích kabelech.[9] Nespornou výhodou tohoto způsobu komunikace je že nevyžaduje instalaci dalších komunikačních kabelů, která by u pasivních domů přinášela problém tepelných mostů.

Použitý osobní počítač IBM ThinkPad 560X, běžící v non-stop režimu je přes sériové rozhraní připojen k rozhraní CM12U (Obr. 3.1.5.1), umožňující komunikaci počítače se zařízeními standardu X-10. Dům je řízen softwarem společnosti HomeSeer a ActiveHome. Systém umožňuje centrální automatizované řízení vytápění, světel, rekuperační jednotky, větracího systému, spotřebičů a zavlažovacího systému

zahrady. Výhodou systému je například možnost vypínat vytápění a ohřev vody při nepřítomnosti obyvatel domu. Řídicí systém ovládá 10 akumulačních kamen, která jsou rozdělena do dvou skupin a každá z nich je spínána jedním modulem X-10 DIN. Jednotlivá kamna mají vlastní termostaty. Zapínají se na 5 hodin během noci a 2 hodiny během dne v závislosti na vnitřní teplotě. Také zapínání rekuperační jednotky je řízeno spínacím modulem X-10 DIN. Do řídicího systému je integrován i zabezpečovací systém s detektory pohybu. Do systému je začleněno i dálkové ovládání audio a video zařízení domu.

**Obr. 3.1.5.1 Rozhraní CM12U pro komunikaci osobního počítače se zařízeními standardu X-10[10]**

### 3.1.5.2 Nízkoenergetický inteligentní dům na Slovensku[11]

Demonstrační projekt nízkoenergetického inteligentního domu na Slovensku (Obr. 3.1.5.2-2). Cílem projektu bylo postavit nízkoenergetický dům, který bude využívat obnovitelných zdrojů energie a bude řízen integrovaným řídicím systémem, který bude zároveň zvyšovat kvalitu a pohodlí bydlení a snižovat náklady na provoz budovy. K výbavě domu patří tepelné čerpadlo, solární kolektory a centrálně řízené zastínění oken. Větrání zajišťuje rekuperační jednotka.

Veškeré řízení domu, jako řízení osvětlení, zabezpečovacího systému, komunikace, a dokonce i vnitřního výtahu, podléhá centrální řídicí jednotce Creston Pro2 (Obr. 3.1.5.2-1). Pro řízení vytápění je využívána informace z teplotních čidel, která jsou umístěna v každém pokoji. Vytápění je řešeno solárními kolektory a

**Obr. 3.1.5.2-1 Centrální jednotka Creston Pro2[12]**

zemním tepelným čerpadlem, které umožňuje i chlazení. Úroveň pasivních solárních zisků oken je regulována proměnným zastíněním. Dům je vybaven nejmodernějšími audio a video hi-fi zařízeními, která lze také ovládat v rámci centrálního řídicího systému. Systém řízení umožňuje i dálkové ovládání a monitorování domu přes internet.

**Obr. 3.1.5.2-2 Exteriér nízkoenergetického domu iDOM na Slovensku[11]**

Centrální jednotka systému Creston Pro2 je primárně určena pro řízení audio-video zařízení, ale může sloužit i k řízení další domovní automatizace. Jednotka je vybavena 6 sériovými porty, 8 infračervenými sériovými porty, 8 versiporty (porty, které mohou být konfigurovány jako digitální nebo analogové vstupy a nebo digitální výstupy), 8 oddělenými reléovými výstupy a rozhraním eternetu.[12]

### 3.1.5.3 Demonstrační dům společnosti BASF[13]

Tento článek pojednává o demonstračním projektu společnosti BASF (Obr. 3.1.5.3-1), která je dodavatelem stavebních materiálů pro stavbu nízkoenergetických domů, a Nottinghamské univerzity. Projekt měl za úkol prokázat dostupnost nízkoenergetické výstavby. Dům byl stavěn podle základních standardů pasivního domu. Je vytápěn obnovitelnými zdroji a snaží se maximálně využívat pasivních solárních zisků. Severní jižní a východní strana jsou nejsilněji zaizolovány a mají jen takový počet, aby splňovaly normu na denní osvětlení místností. Celá jižní strana je prosklená, ale umožňuje také zastínění. Pro izolaci bylo použito především speciálních materiálu společnosti BASF. Tyto materiály mohou dokonce zajistit absorpci slunečního záření a jeho přeměnu na tepelnou energii, která je odváděna tepelným vedením do materiálu a prouděním do vzduchu, který ohřívá. Dům je vybaven rekuperační jednotkou společnosti Rehau s řízeným větráním a využívá zemního výměníku tepla. K ohřevu teplé užitkové vody je využito solárních kolektorů. K dotápění v zimě je použito kamen na biomasu.

**Obr. 3.1.5.3-1 Exteriér demonstračního domu společnosti BASF[14]**

Dům je řízen inteligentním systémem společnosti WebBrick. Tento systém řídí v domě vytápění, osvětlení, a větrání. Řídicí systém má dvě části, samostatnou řídicí jednotku (Obr. 3.1.5.3-2) a dále bránu, která

poskytuje rozhraní pro uživatele k pohodlnému ovládání systému přes internet, email i SMS zprávy. Řídicí systém také monitoruje spotřebu elektrické energie.

Společnost WebBrick poskytuje kompletní sortiment zařízení pro domovní automatizaci.Základem jejich systému je řídicí jednotka WebBrick, která je pro domovní automatizaci a také monitorování budov přímo navržena. Těchto jednotek může celý řídicí systém mít i více. Je tedy umožněna dobrá rozšiřitelnost a modularita celého systému. Více řídicích jednotek lze spojovat pomocí ethernetu a může jim být nadřazena ještě WebBrick brána, ta do systému přidává další inteligenci, lepší uživatelské rozhraní a umožňuje centrální kontrolu více řídicích jednotek WebBrick.[15]

Řídicí jednotka WebBrick má následující výbavu:[16]

4 analogové vstupy

4 analogové výstupy

12 digitálních vstupů

4 zátěžové výstupy

2 přepínatelné reléové výstupy

8 výstupů s pulzní šířkovou modulací

4 zátěžové moduly s pulzní šířkovou modulací

2 reléové výstupy s pulzní šířkovou modulací

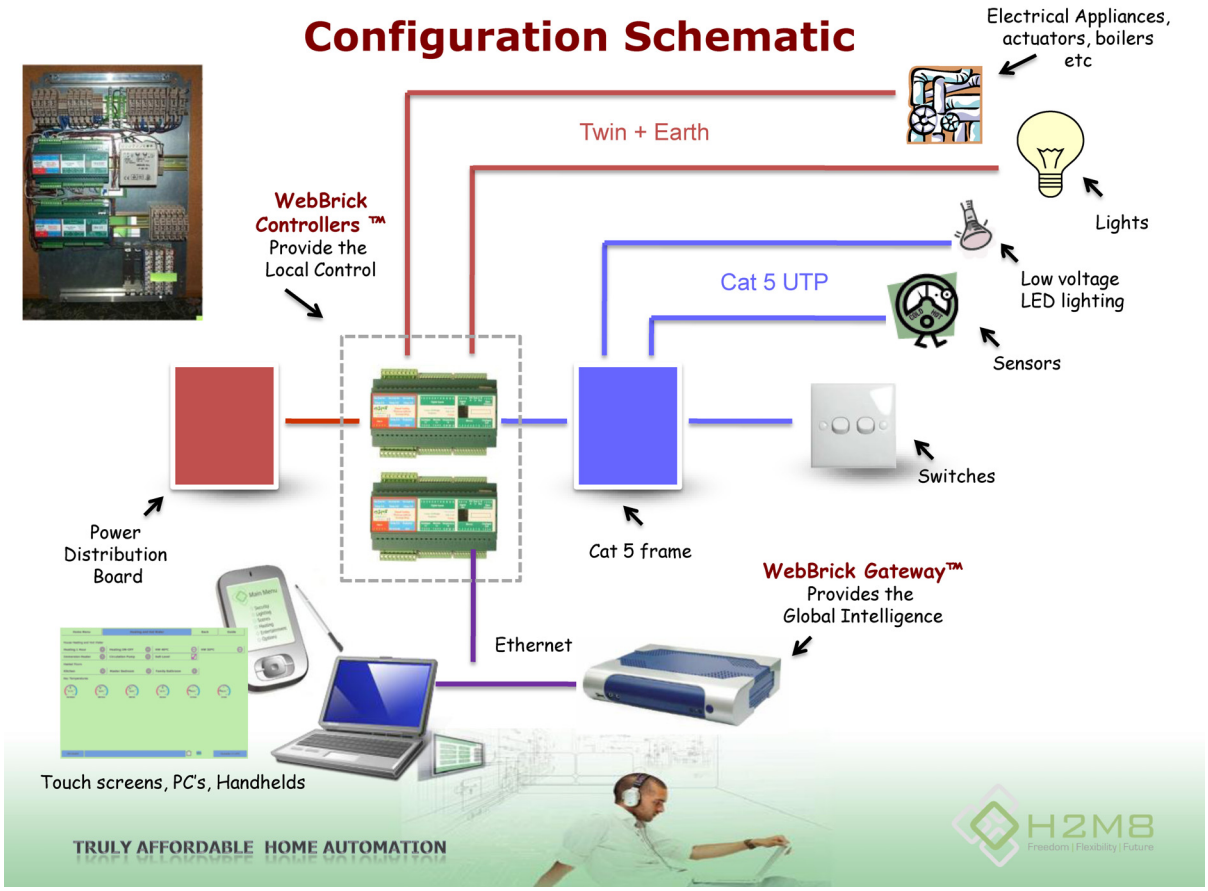
2 digitální TTL výstupy

Sběrnici 1-Wire™ (standard společnosti Dallas Semiconductor umožňující připojit několik zařízení prostřednictvím pouhých dvou vodičů)[17] pro připojení až pěti senzorů teploty

Ethernet data port

Port RS232 / RS485

**Obr. 3.1.5.3-2 Řídící jednotka WebBrick[15]**

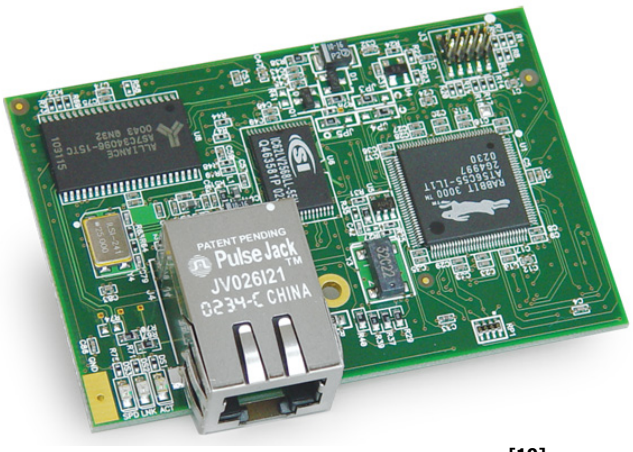



**Obr. 3.1.5.4-3 Schéma zapojení řídící jednotky WebBrick[16]**

### 3.1.5.4 Centrální stanice inteligentního domu[18]

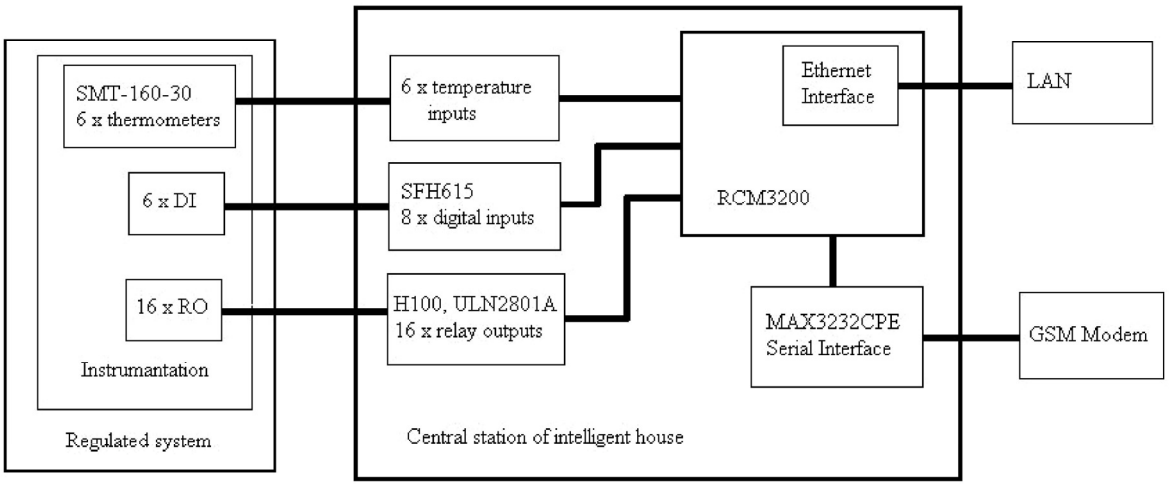
Tato práce měla za cíl vývoj hardwaru a softwaru pro centrální řízení vytápění, chlazení a větrání nízkoenergetického domu za účelem energetických úspor. Řídicí systém je založen na modulu RCM3200 (Obr. 3.1.5.4-1) společnosti Rabbit[19], pomocí kterého se dají realizovat vestavné aplikace řízení a lze ho připojit k standardnímu ethernetu. Systém byl vyvinut s ohledem na nízké náklady. Řízený objekt je dvoupatrový rodinný dům jehož zařízení sestává z tepelného čerpadla, větrací jednotky, solárních kolektorů, 300litrového vodního rezervoáru s třemi ponornými ohřívači a dvěma tepelnými (výměníky pro teplou užitkovou vodu a solární kolektory) a krbu s výměníkem pro ohřev vody.

Systém potřebuje měřit 8 binárních hodnot a 6 teplot a nastavovat 16 binárních akčních hodnot, jako je například spínání tepelného čerpadla, oběhových pump a ponorných ohřívačů. Systém by měl v budoucnu umožňovat také monitorováni přes GSM a HTML. Pro aplikaci byl řídicí systém vybaven 16ti reléovými výstupy, 8mi digitálními vstupy a 6ti vstupy pro měření teploty. Dále je vybaven asynchronním sériovým portem RS-232 a ethernetovým portem. Vestavný modul RCM3200 je umístěn přímo na základní desce a opatřen potřebnými rozhraními (Obr. 3.1.5.4-1). Ethernetový port je využíván k tomu, aby bylo možné se k zařízení připojit jako k http serveru pro monitorování a nastavovaní celého systému. Sériový port bude využit k připojení GSM modemu, aby bylo možné zařízení řídit i pomocí zpráv SMS.




**Obr. 3.1.5.4-1 Modul RCM3200[19]**

Softwarová část byla napsána v jazyce C ve vývojovém prostředí Dynamic C pro microprocessory Rabbit. Obslužný program sestává ze tří procesů. Proces s nejvyšší prioritou periodicky monitoruje vstupní teploty. Druhý proces obstarává hlavní řízení. Pro tento účel bylo vyvinuto 5 programů na topení a chlazení (letní, přechodný, zimní, ekonomický zimní a manuální program) a 4 programy pro řízení větrání (vypnuté větrání, zapnuté bez klimatizace, zapnuté s klimatizací a automatické). Proces s nejnižší prioritou poskytuje http server pro monitorování a řízení systému uživatelem. Pro řízení vytápění je dům rozdělen do dvou zón podle pater a obě zóny umožňují individuální nastavení teplot. Horní patro je vytápěno radiátory, které jsou řízeny v nelineární zpětnovazební smyčce pomocí zapínaní a




**Obr. 3.1.5.4-2 Schéma centrální stanice inteligentního domu[18]**

vypínaní oběhových pump. Spodní patro s krbem je regulováno po ekvitermní křivce, která znázorňuje vztah mezi venkovní teplotou a potřebnou teplotou teplé vody, která vstupuje do výměníku krbu. Teplota vody je regulována centrálním ventilem, který je řízený servem připojeným na dva reléové výstupy (jeden pro otevírání a druhý pro uzavření ventilu).

V létě je teplá užitková voda ohřívána solárními kolektory a teplota v domě je regulována klimatizací, která je tvořena větrací jednotkou a tepelným čerpadlem v chladícím zapojení.

#### 3.1.5.5 Řízené větrání v nízkoenergetickém domě pro úsporu energie za použití komunikační technologie power line jako domácí sítě[20]

Tato práce se zabývá přímo vývojem integrovaného řídicího systému pro energeticky úsporné řízení nízkoenergetického domu, který může být snadno využit i v nově rekonstruovaných budovách. Tento řídicí systém byl použit v testovacím objektu Nizozemské výzkumné společnosti v Pettenu vystavěném v roce 2000. Pro řízení veškerých systémů byla použita domácí síť založená na technologii Lonworks Power line. Dům je rozdělen do čtyř jednotek. První tři jednotky jsou vybaveny solárními kolektory, solárními panely a tepelnými čerpadly. Čtvrtá jednotka je vytápěna plynovým boilerem a tak je solární kolektor využit pouze pro přípravu teplé vody. Řízený větrací systém, který je využíván v zimě, je vybaven rekuperační jednotkou s 90% účinností a příkonem regulovaným v závislosti na přítomnosti osob v domě. Řídicí systém v tomto domě řídí podsystémy topení, osvětlení, větrání, sociálního zabezpečení a poplašného systému. Řídicí systém je distribuovaný - každý z pokojů má svou vlastní inteligenci a pokoje jsou navzájem propojeny pomocí standardních rozvodů napájení 230V.

Vstupy řídicího systému v každém pokoji jsou:

Teplota

Přítomnost osoby v pokoji (pasivní infračervený senzor)

Vlhkost vzduchu

Úroveň osvětlení

Stav poplašného zařízení (elektrické kontakty v oknech a dveřích, teplotní senzor)

Výstupy řídicího systému jsou:

Ztlumení světla

Řízení větrání

Řízení plynového kotle

Alarm

Hlavní roli při řízení hraje přítomnost osoby v místnosti, která je detekována pasivním infračerveným senzorem. Pokud osoba v místnosti není, teplota je úsporně regulována na 15°C, větrání a přívod čerstvého vzduchu jsou na minimální úrovni, světla jsou vypnuta a zabezpečení je aktivováno. Pokud je detekována přítomnost osoby v místnosti, zabezpečovací systém je deaktivován, světla jsou řízena v závislosti na vnější úrovni osvětlení. Teplota je nastavena do komfortního stavu 20°C. Větrání je nastaveno na předepsanou úroveň pomocí správného otevření větracích ventilů. V zimě systém řídí termostatem zapínaní a vypínaní plynového kotle a reguluje teplotu v místnosti pomocí zavírání a otvíraní termostatického ventilu na radiátoru. V místnosti je měřena také vlhkost. Pokud stoupne nad 70%, je výkon větracího systému zvýšen. V létě je větrání v obývacím pokoji řízeno otevíráním oken v průčelí. Otevření oken je přizpůsobeno rychlosti větru a vnější teplotě. Zabezpečovací systém uzavírá okna, pokud obyvatelé opustí dům či během noci. Obyvatelé se mohou rozhodnout, zda ponechají celý větrací systém v autimatickém režimu, nebo budou způsob větrání kontrolovat manuálně – přepínačem v obývacím pokoji.

## 3.2 Tabulka srovnání jednotlivých řídicích systémů

Následující tabulka přehledně porovnává jednotlivé řídící systémy a jejich řídící jednotky

| **Projekt** | **Řídicí jednotka** | **Řízená zařízení** | **Komunikace** | **Měřené veličiny** | **Výhody systému** | **Nevýhody systému** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Nízkoenergetický bungalow v Anglii | IBM ThinkPad 560X (počítač vybavený rozhraním X-10 a řídicím softwarem HomeSeer a ActiveHome) | větrací a rekuperační jednotka<br>akumulační kamna<br>osvětlení<br>spotřebiče<br>zavlažování<br>zabezpečovací systém | X-10 | teplota<br>přítomnost osob<br>úroveň osvětlení<br>detektory pohybu. | • dobré možnosti rozšíření<br>• levné řešení<br>• lze použít již v dokončených domech<br>• nevyžaduje žádné další kabely<br>• komunikace po napájecích kabelech<br>• umožňuje dodat inteligenci do již fungujícího řídicího systému | • řízení není příliš dobře řešeno a objasněno<br>• řešení technologického nadšence<br>• počítač musí běžet v non-stop režimu |
| Nízkoenergetický inteligentní dům na Slovensku | Creston Pro2 | větrací a rekuperační jednotka<br>zemní tepelné čerpadlo<br>solární kolektory<br>zastínění oken<br>osvětlení<br>výtah<br>audio a video zařízení<br>zabezpečovací systém | ethernet<br>sériové rozhraní<br>digitální vstupy a výstupy<br>analogové vstupy<br>Cresnet port | teplota<br>intenzita slunečního záření | • monitorování přes internet<br>• dálkové ovládání | • řídicí jednotka je primárně určena pro řízení audio a video zařízení |

| Projekt | Řídicí jednotka | Řízená zařízení | Komunikace | Měřené veličiny | Výhody systému | Nevýhody systému |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Demonstrační dům společnosti BASF | WebBrick controller | větrací a rekuperační jednotka<br>solární kolektory<br>kamna na biomasu<br>osvětlení | ethernet<br>sériové rozhraní<br>analogové a digitální vstupy a výstupy<br>1-wire | | • ovládání po internetu a emailu<br>• ovládání pomocí SMS zpráv<br>• kompletní modulární systém<br>• určený pro domovní automatizaci<br>• dobré možnosti rozšíření<br>• použití více jednotek<br>• nabízí čidla a ovládací panely<br>• řada analogových a digitálních vstupů a výstupů<br>• monitorování spotřeby energie | • systém je vhodné integrovat při stavbě budovy |
| Centrální stanice inteligentního domu | RCM3200 Rabbit (modul opatřený potřebnými vstupy a výstupy, program napsaný v jazyce C) | větrací jednotka<br>tepelné čerpadlo<br>solární kolektory<br>ponorné ohřívače<br>radiátory | ethernet<br>sériové rozhraní<br>analogové a digitální vstupy a výstupy | vnější teplota<br>vnitřní teplota | • ovládání po internetu<br>• ovládání pomocí SMS zpráv<br>• ekvitermní regulace<br>• programy pro jednotlivá roční období | • systém je navržen pro konkrétní dům<br>• nízká modularita |
| Řízené větrání v nízkoenergetické m domě za použití komunikační technologie power line | Nespecifikovaný distribuovaný řídicí systém | větrací a rekuperační jednotka<br>solární kolektory<br>solární panely<br>tepelné čerpadlo<br>plynový boiler<br>osvětlení<br>otevírání oken<br>radiátory<br>zabezpečovací systém | LonWorks powerline | teplota<br>přítomnost osob<br>vlhkost vzduchu<br>úroveň osvětlení<br>kontakty v oknech a dveřích<br>rychlost větru | • lze použít již v dokončených domech<br>• nevyžaduje žádné další kabely<br>• komunikace po napájecích kabelech | • není specifikována konkrétní řídicí jednotka |

# 4 Závěrečné zhodnocení výsledků

Cílem této práce bylo seznámit se s principy, které využívají pasivní nízkoenergetické domy a tyto poznatky následně zužitkovat při analýze a hledání systémů pro jejích řízení. Byla prohledána celá řada internetových zdrojů, ale pro čistě pasivní domy nebyly nalezeny žádné zmínky o konkrétních systémech jejich řízení. Pro nízkoenergetické domy bylo nalezeno 5 řídicích systémů, které byly analyzovány a porovnány z hlediska použité komunikace, měřených veličin, zařízení, které systémy řídí a detailů použitého systému. Nalezené články nebyly bohužel natolik detailní aby poskytovaly ku příkladu všechny informace potřebné pro analýzu z hlediska akčních veličin. Popisované řízené domy byly stavěny podle zásad pasivní výstavby a také využívaly většinu principů pasivních domů. Proto by mohly být nalezené řídicí systémy aplikovány i na řízení pasivních domů.

Je těžké rozhodnout, který z analyzovaných řídicích systémů je pro řízení pasivních domů nejvhodnější. Pokud by bylo uvažováno o stavbě nového pasivního domu, rozhodně by bylo vhodné použít řídicí systém společnosti WebBrick, který je z výše uvedených systémů nejpropracovanější. Je také přímo vyvinutý pro domovní automatizaci a umožňuje velkou modularitu a snadné rozšíření. Již sám fakt, že si ho tak velká nadnárodní korporace jako je společnost BASF vybrala pro svůj demonstrační projekt, svědčí o jeho kvalitě. Článek také zmiňuje, že se jednalo o aplikaci standardu pasivního domu. Avšak informace o tom zda dům opravdu splňuje normu pasivního domu či byl jako pasivní dům u Passivhaus Institutu certifikován, chybí.

Kdyby se jednalo o zavedení řídicího systému do již postaveného pasivního domu, například pro vylepšení stávajícího řízení, bylo spíše vhodné využít sytému, který umožňuje komunikaci mezi řídicí jednotkou, použitými senzory a akčními členy po napájecích kabelech. Odpadá zde nutnost instalace další kabeláže, která je u pasivních domů problém. Průchod kabelů stěnami může totiž způsobovat tepelné mosty a tím tepelné ztráty.

# Literatura


[1] Centrum pasivního domu (sdružení zabývající se propagací, vzděláváním a podporou pasivních domů a úspor energie ve stavebnictví) http://www.pasivnidomy.cz

[2] *Norma ČSN EN 730540-2:2007- Tepelná ochrana budov - funkční požadavky,* 2007

[3] ATREA s. r. o., Větrání *a teplovzdušné vytápění rodinných domů a bytů* http://www.rekuperace.cz/

[4] Ludvík Trnka, *Pasivní dům - zvláštní číslo časopisu Veronica*, 2004

[5] Ing. Roman Šubrt, *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích*, 23.5.2005 http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2526

[6] Ing. Roman Šubrt, sdružení Energy Consulting, *Tepelné mosty – Infrakamera*, 2003 http://www.e-c.cz/ow/tm_texty_infrakamera.php

[7] BlowerDoor GmbH, *MessSysteme für Luftdichtheit* http://www.blowerdoor.de

[8] John Perry, *Energy Efficient home design* http://www.redoak.co.uk/hpbungal.html

[9] Wikipedia, the free encyclopedia, *X10 (industry standard)* http://en.wikipedia.org/wiki/X10_(industry_standard)

[10] Let's Automate Ltd, *CM12U Home Automation Controller & Windows Software* http://www.letsautomate.com/10075.cfm

[11] SYPHA HiddenWires, Media Control and Basys Czech & Slovak, Zoran Lazik, Mario Lelovsky, *The iDOM project - a Low-Energy, Intelligent Demonstration House in Slovakia*, 3.5.2007 http://hiddenwires.co.uk/resourcescasestudies/casestudies20070503-01.html

[12] Crestron Electronics, Inc., *PRO2 - Professional Dual Bus Control System* http://www.crestron.com/products/show_products.asp?jump=1&model=PRO2

[13] Buildingtalk Editorial Team, *The BASF House opens in Nottingham*, 31. 1.2008 http://www.buildingtalk.com/news/bbg/bbg107.html

[14] BASF – The Chemical Company, *The BASF House - Energy efficiency and affordability*
http://www.house.basf.co.uk

[15] WebBrick® Systems, *Home automation systems*
http://www.webbricksystems.com/

[16] WebBrick® Systems, *WebBrick Community*
http://community.webbricksystems.com/

[17] Martin Malý, HW server s.r.o., *Sběrnice 1-Wire™*, 17.11.2004
http://hw.cz/rozhrani/art1215-sbernice-1-wire.html

[18] Kaňa Zdeněk, Bradáč Zdeněk, *Central Station of Intelligent House*, ISBN 978-80-214-3409, 2007

[19] Rabbit Semiconductor® Inc, *RCM3200 RabbitCore®*
http://www.rabbit.com/products/rcm3200/index.shtml

[20] Römer, L. C. Netherlands Energy Research Foundation ECN, *Demand Controlled Ventilation in a Low-Energy House for Energy Conservation Using Power Line Communication Technique as Home Network*, 2001