

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV**



**WEARABLES A JEJICH INTEGRACE DO  
INTELIGENTNÍCH ŘÍDÍCÍCH SYSTÉMŮ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Vypracoval:**

**Bc. Michal Kompas**

**Vedoucí práce:**

**doc. Ing. Bohumír Garlík, CSc.**

**2019/2020**



Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, 24. 5. 2020

.....

Bc. Michal Kompas

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Bohumíru Garlíkovi, CSc. za vedení mé diplomové práce. Mé poděkování patří též panu Ing. Vojtěchovi Pitelkovi za odborné rady v problematice inteligentních budov a za zapůjčení potřebného vybavení. Dále bych chtěl poděkovat svému okolí za podporu a Marii Krejčové za korekturu.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je analýza technologických možností wearables v souvislosti s jejich integrací do inteligentních řídicích systémů budov a vyhodnocení přínosů této integrace. Autor se zabývá technologiemi, které se vyskytují ve wearables, především pak v chytrých hodinkách. Následně jsou probírána síťová rozhraní, která jsou vhodná pro komunikaci chytrých hodinek s řídicím systémem inteligentní budovy. Na základě zjištěných skutečností autor navrhuje nové způsoby interakce uživatelů s inteligentními budovami. Díky těmto funkcím dochází k energetickým a ekonomickým úsporám a také ke zlepšení kvality vnitřního prostředí. Kromě obytných budov se autor zabývá i administrativními budovami a budovami zajišťujícími sociální a zdravotní služby. Za účelem kvantifikace úspor autor také provádí návrh dvou inteligentních řídicích systémů a jejich srovnání. První návrh se zabývá řídicím systémem využívajícím standardní komponenty jako například pohybové senzory a dotykové panely. V druhém návrhu jsou do řídicího systému integrovány wearables. S ohledem na jejich srovnání autor vyhodnocuje přínosy výše zmíněné integrace.

## **Klíčová slova**

Wearables, inteligentní budovy, inteligentní řídicí systémy, energetický propočet, ekonomický propočet

## **Abstract**

The aim of this thesis is to analyze the technological capabilities of wearables within the context of their integration into intelligent control systems and to evaluate the benefits. The author focuses on the technology of wearables, especially smartwatches. Afterwards, the author analyzes types of network, that are suitable for connection between smartwatch and control systems of intelligent buildings. Based on discovered facts, the author designs new ways of interaction between users and control systems. These functions cause economic saving, energy-saving and improve the indoor environmental quality as well. In addition to residential buildings, the author focuses on administrative buildings, hospitals and retirement homes. He designs two control systems. First of them contains standard components such as movement detectors or touch panels. The second control system integrates with wearables. According to the comparison, the author evaluates the benefits of the integration mentioned above.

## **Keywords**

Wearables, intelligent buildings, intelligent control systems, energy calculation, economic calculation

## Obsah

ÚVOD .....	10
1 Technologické možnosti chytrých hodinek .....	12
1.1 Aktuální stav .....	12
1.1.1 Manuální tlačítka .....	12
1.1.2 Displej .....	13
1.1.3 Senzory srdeční aktivity .....	13
1.1.4 Pohybové senzory .....	14
1.1.5 Elektretový mikrofon .....	16
1.1.6 Senzor intenzity osvětlení .....	16
1.1.7 Senzor měření teploty .....	17
1.1.8 NFC technologie .....	18
1.1.9 RFID .....	19
1.1.10 ANT+ .....	20
1.1.11 Bluetooth .....	20
1.1.12 WiFi .....	21
1.1.13 LTE .....	21
1.2 Technologie ve stádiu vývoje .....	22
1.2.1 Elektrická stimulace svalů .....	22
1.2.2 Interaktivní tetování .....	22
1.2.3 Rozpoznávání výrazu tváře pomocí zvukové odezvy ve zvukovodu .....	24
1.2.4 GestEar .....	25
1.3 Získávání energie .....	26
1.3.1 Grafenový superkapacitátor .....	27
1.3.2 Využití energie z okolního prostředí .....	27
1.3.3 Technologie radiofrekvenčního nabíjení .....	29
1.3.4 Cota® .....	30
1.3.5 Externí baterie .....	31
2 Přínosy integrace wearables do inteligentních řídicích systémů	32
2.1 Možnosti integrace .....	32
2.2 Možná využití wearables v obytných budovách .....	34
2.2.1 Funkce související s využitím údajů z pohybových senzorů .....	34

2.2.2	Funkce související s využitím údajů z mikrofonu a světelného senzoru.....	35
2.2.3	Funkce související se spánkem .....	37
2.2.4	Autentizace.....	39
2.2.5	Regulace systémů TZB .....	41
2.2.6	Integrace wearables do energetického managementu .....	44
2.3	Možná využití wearables v neobytných budovách .....	45
2.3.1	Funkce pro administrativní budovy.....	45
2.3.2	Funkce pro nemocnice .....	46
2.3.3	Funkce pro domovy pro seniory.....	47
2.4	Wearables a opatření pro chytrou karanténu v budovách.....	48
3	Návrh chytrého řídicího systému domácnosti bez a s využitím wearables .....	50
3.1	Použitý rodinný dům .....	50
3.2	Přehled funkcí využitých pro návrh chytré domácnosti.....	50
3.2.1	Sledování přítomnosti .....	50
3.2.2	Manuální regulace TZB systémů.....	51
3.2.3	Automatická regulace TZB systémů .....	51
3.2.4	Zkvalitnění spánku uživatele a další funkce související se spánkem .....	52
3.2.5	Zefektivnění využití fotovoltaických panelů.....	53
3.2.6	Doplňkové funkce zvyšující komfort uživatele .....	54
3.3	Řídicí systém chytré domácnosti bez využití wearables .....	55
3.4	Řídicí systém chytré domácnosti s využitím wearables .....	57
4	Energetické a ekonomické srovnání návrhů .....	60
4.1	Snížení energetické náročnosti .....	60
4.1.1	Úspory elektrické energie.....	60
4.1.2	Úspory energie na vytápění.....	66
4.1.3	Úspory energie na přípravě teplé vody .....	68
4.1.4	Snížení energetické náročnosti – vyhodnocení.....	70
4.2	Výpočet finančních úspor .....	71
4.2.1	Investice.....	72
4.2.2	Finanční úspora na elektrické energii.....	74
4.2.3	Finanční úspora na energii pro vytápění a přípravu teplé vody. ....	75
4.3	Porovnání variant pomocí nástrojů pro hodnocení investic.....	76



ZÁVĚR .....	80
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....	82
SEZNAM PŘÍLOH .....	83
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	83
SEZNAM TABULEK .....	85
POUŽITÁ LITERATURA.....	86

## ÚVOD

Technologický pokrok se neprojevuje jen v ekonomickém segmentu běžné spotřební elektroniky, jako jsou například mobilní telefony a tablety. Značným způsobem rozvíjí i možnosti inteligentních budov. Pasivní infračervené čidlo, odporový teploměr, sorpční senzory vlhkosti a exteriérové meteostanice už nejsou jediné senzory, které lze v inteligentních budovách využít ke sběru dat. Zástupcem pokročilých senzorů je například detekční senzor s názvem Grid-EYE. Jeho 64 teplotních senzorů dokáže nejen detekovat přítomnost pohybu v místnosti jako většina ostatních pohybových čidel, ale dokáže vyhodnotit i směr a velikost zachyceného pohybu. Díky tomu může inteligentní řídicí systém lépe specifikovat a vyhodnotit chování uživatele a přizpůsobit vnitřní prostředí inteligentní budovy. [1]

Wearables neboli nositelná elektronika přináší další typy senzorů, které mohou napomáhat inteligentnímu řídicímu systému s vyhodnocováním chování uživatele. Jde například o senzory měření tepu, gyroskopy a senzory intenzity světla. Prostřednictvím wearables mohou tyto senzory sbírat data v těsné blízkosti uživatele a zároveň si je uživatel přenáší z místnosti do místnosti na rozdíl od standardních senzorů. Otázkou však zůstává, jak tyto senzory plně využít, čímž se tato práce mimo jiné zabývá.

Kromě atypických senzorů přináší wearables také zvýšení dostupnosti ovládacích prvků budovy. Doposud v manuálním ovládní inteligentních budov převládají kolébkové vypínače a zabudované ovládací tablety občas doplněné o aplikace v mobilních telefonech. S ohledem na množství funkcí dostupných v inteligentní budově je celkový systém ovládní pomocí kolébkových vypínačů většinou poměrně rozsáhlý a pro některé uživatele komplikovaný. To může vést k nevyužívání potenciálu inteligentních elektroinstalací. Na tabletech a mobilních telefonech lze díky dotykovým displejům ovládní uživatelsky zpříjemnit a zjednodušit. Nevýhodou tohoto řešení ale zůstává nedostupnost ovládacích prvků. Mobilní telefon u sebe uživatelé běžně v domácnostech nenosí. Nedostupnost ovládní může také vést k nevyužívání potenciálu inteligentních elektroinstalací.

Jak již z významu anglického slova wearables vyplývá, tak jsou chytré hodinky lépe nositelné, tudíž je pravděpodobnější, že je bude mít uživatel stále při sobě. Zdánlivou překážkou by mohl být poměrně malý dotykový displej a výdrž baterie hodinek. Nicméně dle názoru autora je velikost dotykového displeje řešitelná vhodným návrhem uživatelského rozhraní a výdrž baterie hodinek se dnes již také běžně pohybuje okolo 5 dní. Navíc v současné době probíhá řada výzkumů, které jsou z větší či menší části zaměřené na výdrž baterie ve wearables. Mluví se například o využití grafenu. Dnes již existují chytré hodinky, které se částečně dobíjí pomocí integrovaných fotovoltaických článků nebo využitím tělesného tepla uživatele.

Lze tedy předpokládat, že s využitím chytrých hodinek mimo jiné roste využití potenciálu inteligentních budov. Inteligentní budovy nejsou zdaleka jen zvýšení komfortu uživatele. Většinou se projektují v souladu se zásadami integrovaného navrhování budov, tudíž přináší i značné energetické úspory. Přeneseně řečeno lze konstatovat, že zvýšení využití potenciálu inteligentních budov vede ke snížení negativního vlivu na životní prostředí. Integraci wearables do prostředí inteligentních budov lze označit i za ekologicky přínosný projekt, který vede k celosvětově požadovanému snížení energetické náročnosti budov.

# 1 Technologické možnosti chytrých hodinek

V současné době probíhá druhá vlna nárůstu zájmu o chytré hodinky. Uživatelé si pořizují chytré hodinky, aby mohli sledovat své sportovní výkony nebo jako dálkové ovládání mobilního telefonu. Technologie v chytrých hodinkách toho umožňují mnohem víc. Například, a to právě je cílem této práce, lze pomocí nich rozšířit možnosti ovládání inteligentních budov. Cílem následujících kapitol bude navrhnout a zhodnotit jednotlivé funkce, které nám přináší integrace chytrých hodinek do řídicích systému inteligentních budov (dále i jako systémy IB). Před návrhem funkcí je potřeba analyzovat technologické možnosti chytrých hodinek. První část je věnována dnes již poměrně běžným technologiím v chytrých hodinkách. V druhé části je věnován prostor relevantním technologiím v odvětví wearables, které jsou ve fázi vývoje. Samostatná podkapitola je věnována technologiím zajišťujícím napájení wearables.

## 1.1 Aktuální stav

### 1.1.1 Manuální tlačítka

Uživatelsky zřejmě nej přirozenějším způsobem řízení inteligentní budovy pomocí chytrých hodinek jsou mechanická tlačítka. Jejich hlavní předností je, že jsou vždy okamžitě k dispozici a uživatel nemusí listovat ovládacím rozhraním na displeji. Uživatelé, dle názoru autora, navíc preferují spouštět funkce pomocí mechanického tlačítka namísto klikání na dotykový displej.

Mechanická tlačítka sice nepřinášejí uživateli automatické funkce, tudíž by se mohlo zdát, že je nelze spojovat s inteligentními funkcemi. Na druhou stranu sběr dat tvořených pokyny uživatele lze v rámci systémů IB využít k vytvoření modelu popisujícímu chování uživatele. Čím jednodušší bude ovládání, tím více bude využíváno a tím přesnější bude výsledný model. Pomocí tohoto modelu pak lze regulovat vnitřní prostředí v budově automaticky, a to na základě denní doby a přítomnosti konkrétního uživatele. Identifikace konkrétního uživatele v místnosti bude řešena později v rámci této práce.

Závěrem k mechanickým tlačítkům chytrých hodinek lze říci, že zjednodušují ovládání inteligentních řídicích systémů a přenáší ho na zápěstí uživatele. To výrazně zvyšuje komfort uživatele a zároveň to zvýší množství dříve zmíněných dat, které systém IB sbírá o uživateli. Zvýšení množství dat zpřesní model chování uživatele, což zlepší automatickou regulaci vnitřního prostředí v budově.

### **1.1.2 Displej**

Displeje chytrých hodinek standardně mají i při malé uhlopříčce velmi kvalitní rozlišení v řádech stovek pixelů. Vzhledem k tomu se na hodinkách může zobrazit komfortní a funkční uživatelské rozhraní, které slouží ke komunikaci se systémem IB.

Dalším využitím displeje je napojení na systém domovního vrátneho. Na zápěstí uživatele se živě přenáší obraz z kamery nainstalované u domovních dveří. Po stisknutí tlačítka lze s návštěvníkem i komunikovat nebo dveře otevřít.

### **1.1.3 Senzory srdeční aktivity**

Některé senzory v chytrých hodinkách po prvotním nastavení samostatně zaznamenávají konkrétní veličinu. V závislosti na její velikosti a dalších relevantních okolnostech může systém inteligentní budovy provést konkrétní funkci, aniž by jí uživatel vyvolal. Tím se dosáhne pokročilé automatizace. Systém IB je tím pádem schopen zlepšit vnitřní prostředí budovy, aniž by si sám uživatel potřebu zlepšení uvědomoval.

Jsou to například senzory měřící srdeční aktivitu. Existují dva druhy těchto senzorů. V první řadě jsou to optické snímače, které se do chytrých hodinek převážně umísťují. Jejich součástí jsou diody, které prosvěćují kůži a dále pak snímače, které měří množství odraženého světla. Množství odraženého světla závisí na barvě kůže, která odpovídá stupni jejího prokrvení. Z množství odraženého světla se následně dopočítá aktuální počet tepů za minutu uživatele. Jejich nevýhodou je zpoždění naměřených dat, protože se neměří přímo aktivita srdce, ale až následné prokrvování ostatních částí těla. Dále mají senzory problémy s přesností. Ta je ovlivněna problémy s prokrvováním končetin, barvou kůže a stabilizací náramku na ruce uživatele. [2]

Nevýhody optických snímačů u druhého typu senzorů nenalezneme. Většinou se tyto senzory nachází v hrudních pásech, které také patří do zařízení souhrnně

označovaných jako wearables. Fungují na principu monitorování srdeční aktivity metodou EKG, která se používá v lékařství. Využívá se závislosti mezi mechanickou a elektrickou aktivitou srdce. Měří se pomocí dvou elektrod na kůži uživatele, které jsou schopné zachytit změny elektrického potenciálu. Nutno ovšem dodat, že oproti chytrým hodinkám jsou tyto hrudní pásy mnohem méně pohodlné a jejich využití v systémech IB je kvůli tomu nepravděpodobné. [2]

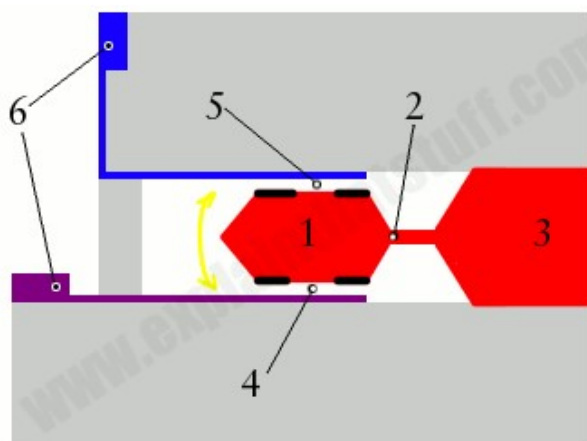
Technologie fungující na principu EKG se již objevují i v chytrých hodinkách. Nicméně na rozdíl od hrudních pásů nebo optických senzorů nelze tuto technologii využívat automaticky. Při měření je většinou potřeba, aby se uživatel dotknul prstem druhé elektrody umístěné na hodinkách. Dosáhne se tak sice přesnějších výsledků, ale pro kontinuální měření využitelné pro automatické funkce inteligentní budovy je to nevhodná technologie.

Měření tepu, respektive optické snímače, jsou v systémech obytných inteligentních budov využitelné hlavně během spánku uživatele. V poslední době se díky zdokonalení výpočetních algoritmů a senzorů čím dál tím častěji mluví o využití chytrých hodinek pro lékařské účely nebo přesněji pro včasnou diagnostiku srdečních problémů. Tyto funkce by našly své uplatnění v nemocnicích nebo v domovech pro seniory. Využitím chytrých hodinek v tomto směru se mimo jiné zabýval výzkumný tým aplikace Cardiogram ve spolupráci s Kalifornskou univerzitou. Díky jejich optimalizaci softwaru dokázali již začátkem roku 2018 chytré hodinky varovat uživatele při podezřelé aktivitě srdce a to s 97% úspěšností. [3]

#### **1.1.4 Pohybové senzory**

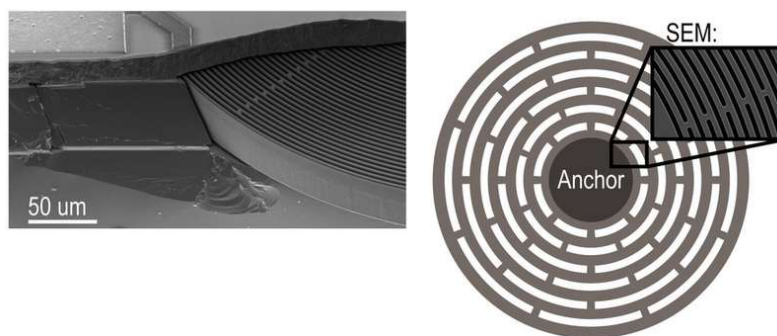
Ze senzorů běžně vyskytujících se v chytrých hodinkách lze dále použít pohybové senzory. Mezi ně patří akcelerometr a méně se vyskytující gyroskop. Akcelerometr má na rozdíl od gyroskopu směr dolů (gravitaci) jako vertikálu a veškeré zaznamenané pohyby uvádí ve vztahu k ní. Lze tedy říct, že určuje polohu vůči zemi. Na rozdíl od toho gyroskop nemá žádnou základní vertikálu. Udává natočení ve všech směrech vzhledem k výchozímu kalibrovanému stavu. [4]

V chytrých hodinkách a telefonech se běžně používá polovodičový akcelerometr. Ten se skládá z jedné hlavní (na dále uvedeném schématu označená číslem 1) a ze dvou vedlejších elektrod (číslo 6). Hlavní elektroda je v prostoru a je upevněna na tenkém úchytu (číslo 2), který jí udrží ve vzduchu, ale zároveň je dost ohebný na to, aby jí umožnil pohyb. Hlavní elektroda tvoří s jednotlivými vedlejšími elektrodami dva nezávislé kondenzátory. Jejich kapacita se mění na základě vzdálenosti mezi hlavní a vedlejší elektrodou. Tímto způsobem lze tuto vzdálenost přesně monitorovat a převést jí na natočení akcelerometru vzhledem k zemskému povrchu. Mezi hlavní elektrodou a vedlejšími elektrodami jsou umístěny miniaturní kousky izolantů (čísla 4 a 5), aby nemohlo dojít k úplnému kontaktu jednotlivých elektrod kondenzátoru. [5]



Obrázek 1 - Ukázkové schéma fungování akcelerometru [5]

MEMS gyroskop neboli Micro Electro Mechanical Systems gyroskop funguje na bázi Coriolisova efektu. Obdobné označení MEMS se používá i u akcelerometrů používaných v chytrých hodinkách. Dle Coriolisova efektu trajektorie tělesa vzdalujícího se kolmo od středu otáčení v rotující sestavě se bude stáčet proti směru otáčení. Naopak je tomu u tělesa pohybujícího se směrem k ose otáčení. Jednou z používaných variant MEMS gyroskopu je DRG. Jde o sestavu tří rezonujících disků tvořených sestavou soustředných kruhových plátů. Když se začne disk otáčet, tak na něj začne působit Coriolisova síla a disk se mírně zdeformuje. Jednotlivé pláty opět fungují jako kondenzátory. Jejich vzájemné vychýlení lze monitorovat a převést do údajů vypovídajících o natočení ve směru konkrétní osy. [6]



Obrázek 2 - MEMS gyroskop [7]

Přesné údaje o změně polohy a aktuálním natočení chytrých hodinek lze využít například pro komunikaci se systémem IB pomocí pohybů provedených rukou. Tyto přesné údaje o poloze a natočení zařízení lze také teoreticky použít ke sledování pohybu uživatele po objektu.

### 1.1.5 Elektretový mikrofon

Mikrofon je dalším senzorem, který je možné využít k rozšíření automatických funkcí. Nejvhodnější pro chytré hodinky je elektretový mikrofon. Jde o druh kondenzátorového mikrofonu. Akustické vlny rozkmitávají membránu, která je zároveň jednou z elektrod kondenzátoru. Změnou vzájemné polohy elektrod se mění kapacita kondenzátoru a napětí mezi nimi. Změny napětí lze monitorovat. Slouží k zachycení informací o zvuku, které lze následně dále zpracovávat. [8]

Některé chytré hodinky mikrofon využívají k zachycení pokynů při hlasovém ovládní nebo případně v kombinaci s reproduktorem k telefonování. Alternativou v této oblasti jsou hodinky Voixatch. Mají odnímatelnou lunetu, která slouží jako handsfree sluchátko, což zajistí soukromí při hovorech uskutečňovaných pomocí chytrých hodinek. [9]

V rámci systému IB lze mikrofon také využít k hlasovému ovládní nebo k monitorování hladiny akustického tlaku v okolí uživatele.

### 1.1.6 Senzor intenzity osvětlení

Dalším ze senzorů využitelných k automatickým funkcím systému IB je světelný senzor. V anglickém jazyce se označuje jako „ambient light sensor“, což by mohlo být při neodborném překladu poměrně zavádějící. V anglickém jazyce



znamena výraz „ambient light“ veškeré světlo, které se nachází v posuzovaném prostoru. Zatímco český výraz ambientní osvětlení znamená nepřímé osvětlení využívané k redukci negativních dopadů na lidské oko při sledování obrazovky. Z tohoto důvodu je většinou u chytrých hodinek uveden poměrně nejednoznačný výraz světelný senzor a pro jeho bližší určení je nutné nahlédnout do specifikací psaných v anglickém jazyce. [10] [11]

Tento druh senzoru měří intenzitu osvětlení v bezprostředním okolí uživatele. Intenzita osvětlení je fotometrická veličina, která udává, kolik světla dopadne na 1 m<sup>2</sup> a vyjadřuje se v luxech. Senzor se běžně využívá v mobilních telefonech a v tabletech. Slouží k regulaci jasů obrazovky v závislosti na okolní intenzitě osvětlení za účelem udržení čitelnosti displeje a za účelem šetření energie.

V rámci systému řízení inteligentních budov spočívá jeho potenciál v obdobném principu. Může sloužit k regulaci jasů osvětlení v závislosti na aktuálních světelných podmínkách. Sníží se množství použitých senzorů v instalaci a zároveň není potřeba neustále zjišťovat u jakého z nich se právě uživatel nachází. Stačí jeden senzor permanentně umístěný v blízkosti uživatele a algoritmus nastavený na konkrétní požadavky řízení osvětlení. [12]

### **1.1.7 Senzor měření teploty**

Pro měření teploty se v drobné elektronice většinou využívá některý z termistorů. Jeho výhodou jsou kompaktní rozměry. Nevýhodou je menší přesnost než u odporových platinových senzorů. Sensory většinou slouží ke kontrole teploty baterie, kde nejistota v řádu jednotek Kelvinů není překážkou. Pro měření teploty lidského těla je vhodnější využít například právě platinový odporový senzor. [38]

Oba zmíněné senzory fungují na principu změny elektrického odporu materiálu při změně jeho teploty. Senzor je napájen ze zdroje proudu, tzv. měřícím proudem. Na základě naměřené změny odporu senzoru proti výchozímu stavu lze pomocí teplotního součinitele odporu materiálu dopočítat aktuální teplotu senzoru. [38]

Senzor měření teploty lidského těla se prozatím ve wearables objevuje jen zřídka a ve většině případů jen u nedůvěryhodných zařízení. Ovšem existují i výjimky,

kteřé dokazují potenciál zařízení s tímto senzorem. Mezi takové zařízení patří například jednorázové náplasti TempTraq®, které se používají k přesnému měření teploty lidského těla. Uplatňují se v nemocnicích jako náhrada invazivní katetrizace nebo i v domácnostech u běžného orientačního měření při nemoci. TempTraq® má ve Spojených státech amerických certifikaci FDA pro zdravotnická zařízení. Ekvivalentní certifikaci pro Českou republiku toto zařízení bohužel zatím neobdrželo. [36]

### **1.1.8 NFC technologie**

„Near Field Communication“ neboli zkráceně NFC je bezdrátová komunikační technologie fungující na bázi elektromagnetických vln. Její předností je, že může probíhat mezi aktivním a pasivním členem. Pasivní člen nemusí mít vlastní zdroj napájení a je tvořen pouze jednoduchým obvodem. Během komunikace aktivní člen nejprve vyšle elektromagnetické vlny, které nabijí miniaturní kondenzátor v obvodu pasivního členu. Následně je takto nabitý kondenzátor schopen dočasně napájet obvod, který vysílá informaci v podobě elektromagnetických vln zpět do aktivního členu. Komunikace prostřednictvím této technologie může probíhat i mezi dvěma aktivními členy. Pro integraci wearables do systémů inteligentních budov jsou využitelné oba způsoby. [13]

NFC se využívá pro spolehlivou bezkontaktní komunikaci uskutečňovanou na krátkou vzdálenost a na frekvenci 13,56 MHz. Tato technologie se běžně vyskytuje v chytrých telefonech, v přístupových systémech a v platebních kartách. V prostředí inteligentních budov jí lze použít pro autentizační účely. Uživatelé se pomocí NFC technologie mohou přihlásit do místnosti. Tím řeknou systému IB, že se v této místnosti nachází a že jí chtějí přizpůsobit svým požadavkům. Představa neustálého přihlašování se v prostředí rodinného domu se může zdát nekomfortní. Na druhou stranu, pokud bude mít systém IB informace o pohybu uživatelů může například automaticky spouštět naprogramované scény. Scéna je souhrnné nastavení několika zařízení, která se takto začnou nastavovat na základě jednoho společného požadavku. Například jediným stiskem zapneme režim „sledování televize“. Televize se spustí, vypne se hlavní osvětlení, zapne se ambientní osvětlení za televizí a spustí se stínící rolety. Pro lepší představu to lze připodobnit běžně používanému režimu „letadlo“.

Po jeho aktivaci jedním stiskem vypne mobilní telefon všechny bezdrátové sítě a uživatel je nemusí vypínat po jedné.

Obdobně jako u mechanických tlačítek nepřináší využití chytrých hodinek s NFC technologií nové funkce ovládání systému IB. Obdobně by autentizace mohla být prováděna pomocí mobilních telefonů. Nicméně přínosem wearables je, že se zvýší počet využití autentizace, jelikož je uživatelé mají stále u sebe. Celkově se tato myšlenka přihlašování se do místností stává použitelnou až s využitím chytrých hodinek. Představa přihlašování se do obytných místností chytrým telefonem nebo identifikační kartou je velmi nekomfortní, tudíž by ve výsledku pravděpodobně nebyla využívána.

### 1.1.9 RFID

RFID technologie je velmi podobná NFC technologii. NFC dokonce vychází ze základu RFID. RFID sice na rozdíl od NFC umožňuje jen jednosměrnou komunikaci, ale na druhou stranu jí lze uskutečnit i na vzdálenost několika metrů. Dosah se odvíjí od frekvence, na které RFID čtečka pracuje. Podle frekvence dělíme RFID technologie do tří typů viz tabulka 1.

*Tabulka 1 - Přehled RFID technologií*

Název	Frekvence	Dosah
Nízká frekvence (low frequency – LF)	125 kHz – 148 MHz	Jednotky centimetrů
Vysoká frekvence (high frequency HF)	13,56 MHz	Jednotky až desítky centimetrů
Velmi vysoká frekvence (ultra-high frequency UHF)	868 MHz, 915 MHz	Jednotky až desítky metrů

Stejně jako v případě NFC probíhá komunikace i mezi pasivním a aktivním členem. Před odesláním zprávy se pasivní člen nabije z elektromagnetického pole aktivního členu a tím získá energii na odeslání zprávy. Stejně jako v případě NFC se jedná se o tzv. radiofrekvenční nabíjení viz podkapitola 1.3.3. RFID se využívá v autentizačních a přístupových systémech. Díky svému dosahu bývá použit i ke sledování pohybu výrobků nebo zařízení v průmyslu. [29]

### **1.1.10 ANT+**

Jedná se o WSN technologii. Probíhá na frekvenci 2,4 GHz a její přenosová rychlost dosahuje až 1 Mbps. To je pro srovnání čtyřnásobek technologie Zigbee, která se běžně využívá v prostředí inteligentních budov. Její architektura umožňuje propojení několika zařízení, které se v síti chovají jako uzly komunikující na jednotlivých kanálech. Tyto uzly se dělí na „masters“ a „slaves“. Na rozdíl od většiny WSN technologií není potřeba definovat jeden master neboli hlavní uzel v celé síti, ale toto rozdělení rolí probíhá vždy mezi dvěma spolu komunikujícími zařízeními. To zapříčiňuje větší flexibilitu sítě. [14]

Hlavní předností ANT+ je nízká spotřeba energie, která je v souvislosti s řešenou problematikou velmi důležitým aspektem. Vzhledem k malým rozměrům wearables je jejich kapacita baterie poměrně limitována. Zároveň je v souvislosti s integrací wearables do řídicích systémů inteligentních budov požadovaná dlouhá výdrž na jedno nabití. Snížení spotřeby je jedním ze způsobů, jak prodloužit dobu využívání chytrých hodinek k ovládní inteligentních budov. Podrobněji je problematika baterií řešena v podkapitole 1.3.

Dalším benefitem této technologie je její velký dosah. Zařízení mohou komunikovat až na vzdálenost 100 m. Krom toho je technologie dobře dostupná, kvůli nízké ceně kompatibilních transceiverů. Transceiver je síťový prvek, který překládá tok informací z jednoho typu sítě do druhého. [14]

### **1.1.11 Bluetooth**

Bluetooth je jednou s nejvíce používaných WSN technologií v drobné elektronice. Byla představena již v roce 1994 a to za účelem usnadnění komunikace mezi dvěma komunikujícími zařízeními. Usnadnění v tomto případě znamenalo využití bezdrátového přenosu. Má obdobné technické specifikace jako ANT+. Její dosah je až 100 m. Rychlost dosahuje 1Mbps a také probíhá na frekvenci 2,4 GHz. Existují dva typy topologie Bluetooth sítě. První z nich je tzv. „Piconet“. V tomto případě se vyskytuje vždy pouze jeden „master“, který komunikuje buďto s jedním nebo s více „slaves“. Druhou možností je tzv. „Scatternet“, kde je několik sítí typu „Piconet“ propojeno dohromady. [15]

Výhodou technologie Bluetooth oproti ANT+ je častější využití v chytrých hodinkách. Pokud by se komunikace mezi systémem IB a chytrými hodinkami prováděla prostřednictvím Bluetooth, měli by uživatelé k dispozici větší výběr kompatibilních hodinek.

### **1.1.12 WiFi**

WiFi je označení pro soubor bezdrátových technologií využívajících standardu IEEE 802.11. Tento název je často mylně zaměňován s označením WLAN. To je zkratka pro „wireless local area network“, což je v překladu bezdrátová lokální síť. Je pravdou, že pro tyto sítě se velmi často využívá právě technologie WiFi, ale je vhodné tyto dva pojmy rozlišovat.

Většina chytrých hodinek opatřených WiFi čipem funguje na třech nejběžnějších WiFi standardech - 802.11b/g/n. Všechny tři pracují ve frekvenčním pásmu 2,4 GHz a standard 802.11n i v pásmu 5 GHz. Oproti ostatním uvedeným technologiím mají mnohonásobně vyšší přenosovou rychlost, která dosahuje až 54 Mbps. Z toho důvodu se tato technologie využívá k bezdrátovému připojení k internetu. [16] [17]

V chytrých hodinkách nalezneme tuto technologii většinou u dražších modelů. Její hlavní výhoda, kterou je vysoká přenosová rychlost, není podstatná pro řešenou problematiku. Komunikace mezi chytrými hodinkami a systémem inteligentní budovy nebude natolik kapacitně náročná, aby potřebovala vyšší přenosovou rychlost než 1Mbps. Užitečnější výhodou je, že se v inteligentních budovách téměř vždy nachází pokrytí bezdrátovou sítí typu WiFi a jednotlivé prvky inteligentní elektroinstalace po této síti dokonce občas komunikují. Co se týče hardwarové stránky, byla by tato komunikace mezi chytrými hodinkami a systémem IB již vyřešena. Nevýhodou WiFi je větší spotřeba energie.

### **1.1.13 LTE**

LTE je dalším standardem ve skupině bezdrátových sítí. Tuto technologii lze často najít i pod označením 4G neboli síť 4. generace. Uplatnění nachází hlavně u chytrých mobilních telefonů, kde je využívána pro připojení k operátorovi, a to hlavně za účelem přístupu k internetu.

U chytrých zařízení má nejčastěji dostupný typ LTE CAT 0 k dispozici rychlost 1 Mbps a pracuje v rozsahu pásem od 1,4 do 20 MHz. U chytrých hodinek je použití této technologie ještě méně časté než použití WiFi. Naopak její výhodou je, že by chytré hodinky mohly komunikovat s řídicím systémem po internetu a nebylo by potřeba opatřit elektroinstalaci dalším hardwarem v podobě přijímače jako například v případě ANT+ nebo Bluetooth. [18]

## **1.2 Technologie ve stádiu vývoje**

### **1.2.1 Elektrická stimulace svalů**

Vědecký tým pod vedením Dr. Pedra Lopeze pracuje na technologii, která umožňuje uživatelům vykonávat manuální činnosti, aniž by o tom sami rozhodli nebo aniž by tyto činnosti uměli. Princip spočívá v rukávech opatřených elektrodami, které dodávají přesné elektrické impulsy do přesných míst v paži uživatele. Díky těmto signálům se konkrétní svaly stahují a natahují dle potřeby a to v konečném výsledku způsobí provedení předepsaného pohybu. Součástí technologie jsou i senzory, které vyhodnocují, jaký pohyb je potřeba udělat. Krom kamer jsou to například i NFC čtečky, které byly podrobněji probírány v podkapitole 1.1.8. V některých prototypu jsou zabudovány i teplotní čidla. Na základě jejich výstupu se například vyhodnotí, jestli se uchopí hrnek napřímou nebo pomocí úchyty. Pomocí sestavených prototypů lze již provádět základní jednoduché činnosti. Dle vyjádření vedoucího projektu je jeho tým pouze na začátku vývoje této technologie a do budoucna by chtěl docílit automatizované hry na hudební nástroje nebo lékařské operace. [19]

Potenciál této technologie je v systémech IB například v automatizaci některých komplikovaných činností. Nebo naopak v zamezení provedení činností ohrožujících zdraví uživatele.

### **1.2.2 Interaktivní tetování**

Do široké skupiny wearables lze zařadit také elektronické nalepovací tetování. V této technologii se spojuje designová stránka s využitím moderních technologií. Obdobně jako na chytrých hodinkách lze pomocí těchto zařízení ovládat další zařízení,

zobrazovat informace a sdílet informace s ostatními zařízeními. Doposud publikované prototypy umožňují vždy pouze jednu z těchto funkcí.

První typ, sloužící k ovládní ostatních zařízení, funguje na principu kapacitních dotykových elektrod. Skládá se celkem ze 4 vrstev. Spodní vrstva zajišťuje adhezi zařízení k pokožce. Další vrstva izolantu zajišťuje odstínění parazitních kapacit od následující vrstvy s elektrodou, která je tvořena z tenké vrstvy zlata. Celé zařízení je pak zakryto vrstvou odolného silikonu. Je možné vytvořit různé uživatelské rozhraní. V závislosti na rozmístění elektrod může celé tetování fungovat jako jednoduché tlačítko, posuvné tlačítko nebo 2D touchpad. [20]

Druhý typ funguje na principu termochromismu. Spočívá ve změně barvy materiálu v závislosti na jeho teplotě. Změny teploty se v tomto případě dosahuje pomocí elektrického proudu přiváděného do zařízení opět přes elektrody z tenké vrstvy zlata. Skladba vrstev technologie je obdobná jako v prvním případě s tím rozdílem, že zde pod silikonovou vrstvou přibyla vrstva z materiálu s proměnlivou barvou. Tetování může být rozděleno do několika částí a jednotlivé části pak mohou být samostatně adresovány jako například u technologie LED. [20]

Poslední typ je v podstatě pasivní NFC člen viz podkapitola 1.1.8. Jde o cívku tvořenou z tenké vrstvy zlata, která po přiblížení aktivního NFC členu bezdrátově naindukuje napětí a odešle uloženou informaci. Výhodou tohoto typu tetování je absence potřeby baterie. Ostatní dva zmíněné typy ke svému provozu využívají miniaturních vyhodnocovacích jednotek jako je například Arduino Mini. Z toho důvodu nejsou tyto typy tak kompaktní a je potřeba řešit výdrž baterie. Na druhou stranu mohou neustále komunikovat s dalšími zařízeními pomocí technologie Bluetooth. [20]



Obrázek 3 - Prototypy interaktivního tetování DuoSkin, a) První typ, b) Druhý typ, c) Třetí typ

Technologie interaktivního tetování by mohla v některých případech nahradit chytré hodinky při ovládní budovy. Může sloužit k přihlašování do místností pomocí

NFC čteček, k ovládání systémů pomocí dotykových panelů anebo například k zobrazování informací o systému IB pomocí termochromismu.

### **1.2.3 Rozpoznávání výrazu tváře pomocí zvukové odezvy ve zvukovodu**

Na další technologii, která je ve fázi vývoje, pracuje vědecký tým na Hokkaidské univerzitě v Japonsku. Zabývají se novým způsobem komunikace uživatele s mobilním telefonem. Předpokladem bylo vytvořit technologii, která nezahrnuje využití rukou, protože mohou být v běžném životě velmi často zaneprázdněné. Zároveň by se nemělo využívat hlasové ovládání, protože je toto řešení nevhodné k použití na veřejných místech. [21]

Uživatel komunikuje s mobilním telefonem nebo podobným zařízením pomocí svých výrazů tváře. V mobilních telefonech se dnes již používá tohoto způsobu komunikace pomocí integrované přední kamery, ale toto řešení přestává fungovat, pokud tvář uživatele není v zorném poli kamery a nelze ho využít v případě wearables. Technologie japonského týmu ovšem využívá zvuku, který se tvoří při změně výrazu ve zvukovodu. Tento zvuk je pomocí mikrofonu integrovaného do sluchátek zachycen a vyhodnocen. Na základě vyhodnocení se pak pošle datová zpráva do mobilního telefonu. Kvůli nekonstantní pozici sluchátka se při vyhodnocování zavádí ještě signálová korekce. Ta spočívá ve využití vlastní charakteristické frekvence zvukovodu, která se mění se změnou polohy sluchátka. Při testování prototypu se dosáhlo velmi dobrých výsledků. Při rozpoznávání 21 výrazů tváře byla sice přesnost jen okolo 60 %. Nicméně po zmenšení množiny rozpoznávaných výrazů na 6 se po korekci dosáhlo přibližně 90% úspěšnosti. Ještě je vhodné dodat, že úspěšnost se měnila v závislosti na rozpoznávaném výrazu. [21]

Při rozšíření této technologie by jí bylo možné využít k interakci s inteligentní budovou. Místo gesta rukou by se dalo využít změny výrazu v případě, kdy nebude možné gesto rukou provést. Další neméně důležitý potenciál spočívá v automatických funkcích, které je možné takto spouštět. Inteligentní budova může reagovat na výraz uživatele, který provede nevědomě na základě svých emocí. Dosáhlo by se tak vysokého stupně automatizace, jelikož by se akce provedla ještě předtím, než si uživatel uvědomí její potřebu. [21]



#### 1.2.4 GestEar

Jak technologie pohybových senzorů, tak i technologie elektretového mikrofonu byla již popsána v podkapitole 1.1. V této podkapitole bylo také zmíněno využití gyroskopu za účelem rozpoznávání gest. Díky metodě GestEar lze zpřesnit rozpoznávání gest, a to s využitím analýzy zvuků, které při vybraných gestech přirozeně vznikají. [22]

Dle posledních zpráv metoda pracuje s 9 gesty, které zahrnují klepání, lusknutí prsty a tlesknutí, a to jak levou, tak i pravou rukou. Rozpoznáním gesta na levé i pravé ruce je myšlena situace, kdy jsou hodinky na levé ruce. Z toho plyne, že díky této metodě lze rozpoznat gesto pouze na základě údajů z mikrofonu, jelikož při lusknutí prsty pravé ruky je gyroskop na levé ruce samozřejmě v relativně stabilní poloze. Dále pak metoda počítá i s osazením hodinek na pravou ruku. V tom případě se pohybová data zrcadlí skrze ortogonální rovinu. [22]

K rozpoznání není využita žádná speciálně sestavená ani nově vyvinutá technologie. Při zkušebních testech celý proces probíhal na modelu chytrých hodinek z roku 2015. Metoda spočívá v samostatném vyhodnocení dat ze všech tří senzorů a v následné kombinaci výstupů prostřednictvím neuronové sítě, kde dochází k vyhodnocení provedeného gesta. Neuronová síť byla popsána například definicí Donalda A. Singera jako skupina metod, které se pokoušejí napodobovat procesy lidské mysli. Navzdory předpokladu veškeré výpočty probíhají přímo na chytrých hodinkách a aplikace, která vyhodnocuje gesta pomocí této metody zabírá pouze 50 kB ROM. Celý proces rozpoznání gesta pak trvá v průměru 10 ms. [22] [37]

Navzdory využití běžně dostupných technologií má tato vyhodnocovací metoda úspěšnost 97,2 %, což bylo prokázáno na vzorku 16 náhodných účastníků, kterým nebyly výpočty metody nijak přizpůsobovány. Na demonstrativních příkladech autoři v souladu s očekáváním využívají tuto metodu k ovládní blíže nespécifikovaného audio systému a osvětlení. Originálnější přístupem je nahrazení domovního zvonku. Uživatel zaklepe na dveře. Hodinky toto gesto zachytí a systém pravděpodobně prostřednictvím spárovaného mobilního telefonu pošle zprávu do inteligentního řídicího systému chytré domácnosti. [22]

Dle názoru autora této diplomové práce je poslední zmiňované řešení poněkud problematické s velkým množstvím neobjasněných míst. Myšlenka převodu zaklepání na dveře do spuštění domovního zvonku je na druhou stranu poměrně zajímavá a lze jí aplikovat vhodnějším a univerzálnějším řešením. To ovšem nijak nesnižuje kvalitu této technologie. Metoda, která kombinuje vstupy z více senzorů a vyhodnocuje je pomocí neuronové sítě, může být pro potřeby integrace wearables do systému IB velmi přínosná.

### **1.3 Získávání energie**

Jedním z největších problémů wearables je jejich nízká kapacita baterie vycházející z požadavku na co největší míru přenosnosti a kompaktnosti zařízení. Proti tomu jde snaha o jejich všestrannou využitelnost. Rozšiřují se možnosti využití během denní aktivity, ale zároveň se rozvíjí i možnosti využití během spánku. S tím souvisí rostoucí spotřeba energie, ale zároveň se snižuje prostor pro nabíjení baterií.

Nedostatek energie lze obecně řešit třemi odlišnými cestami. První z nich je navýšení kapacity baterií. Druhou je snížení spotřeby a třetí je pak optimalizace způsobu dobíjení, například pomocí tzv. „energy harvesting“. „Energy harvesting“ spočívá ve výrobě malého množství elektrické energie přímo v místě spotřeby nebo v jeho blízkosti. V dnešní době se tohoto fenoménu často využívá v systémech TZB v inteligentních budovách. Komerčně dostupné jsou bezdrátové a bezbateriové vypínače osvětlení, které se nabíjejí z energie vynaložené na stisknutí tlačítka díky tzv. piezoelektrickému jevu. Piezoelektrický jev spočívá v přeměně mechanické energie na elektrickou. Dalšími soběstačnými zařízeními jsou senzory teploty a průtoku osazované na potrubí otopné soustavy. Energie se zde získává z rozdílu teplot mezi otopnou vodou v jednotlivých potrubích. Tuto schopnost získávání elektrické energie z prostředí s rozdílnými teplotami mají tzv. termoelektrické materiály.

Cestě navýšení kapacity baterií se díky mezioborovému zájmu věnuje velké množství odborných studií. Navýšení kapacity baterií by nemělo přinést jen pro odvětví zabývající se nositelnou elektronikou ale samozřejmě i pro odvětví ostatní drobné elektroniky nebo pro elektromobilový průmysl. V poslední době se v souvislosti s problematikou baterií často mluví o novém materiálu označovaném

jako grafen. Grafen je materiál na uhlíkové bázi. Jeho ojedinělé vlastnosti jsou způsobené netradičním uspořádáním atomů. Atomy tvoří pravidelnou mřížku, která se rozpíná do prostoru jen ve směru osy „x“ a osy „y“. Ve směru osy „z“ má materiál konstantní výšku právě jednoho atomu.

### **1.3.1 Grafenový superkapacitátor**

Průlom v tomto směru se povedl týmu z UCL. Podařilo se vytvořit grafenovou baterii, která má nejen vysokou kapacitu při malých rozměrech, ale umožňuje i rychlé nabíjení. Tím pádem splňuje předpoklady dvou variant z cest uvedených na začátku této podkapitoly. Princip tohoto superkapacitátoru spočívá v optimalizaci velikosti pórů vrstvy grafenu. Póry jsou modifikovány, tak aby přesně odpovídaly velikosti iontů z použitého elektrolytu. Díky tomuto principu se dosáhlo rekordní objemové energetické hustoty 88 Wh/l. Objemová energetická hustota je veličina vypovídající o kapacitě baterie. Hodnota 88 Wh/l je nejvyšší zaznamenaná mezi superkapacitátory na bázi uhlíku. Pro dokreslení významu tohoto průlomu je nutné ještě dodat, že dnešní obdobné komerční rychlonabíjecí baterie dosahují hodnot 5–8 Wh/l. Olovněné akumulátory, které se využívají v elektromobilovém průmyslu, mají sice srovnatelnou kapacitu, ale výrazně pomaleji se nabíjejí. Rychlost jejich nabíjení je menší až o dva řády. Další výhodou pro oblast wearables je pak flexibilita této technologie. Dle autorů jí lze pružně ohnout až o 180 stupňů. Baterie je také bezpečná, a to díky tomu, že nevyužívá tekutinový elektrolyt, který v minulosti způsoboval výbuchy baterií mobilních telefonů. [23]

### **1.3.2 Využití energie z okolního prostředí**

Druhou ze zmíněných cest může být získávání energie přímo z těla uživatele, a to samozřejmě bez ohrožení zdraví člověka. Potenciál tohoto zdroje je v měřítku průměrné spotřeby energie wearables enormní. Dle některých zdrojů lidské tělo obsahuje průměrně 400 MJ energie, což je ekvivalent přibližně 111 kWh. Komerčně dostupné hodinky mají kapacitu v nižších řádech stovek mAh. Pro další potřeby výpočtu bude uvažováno 300 mAh. Porovnatelná hodnota baterie chytrých hodinek v kWh při napětí baterie 3,7 V se získá z následujícího výpočtu. Vynásobením napětí baterie ve voltech a kapacity baterie v ampérhodinách se získá hodnota ve watthodinách. Převodem na kilowatthodiny se dosáhne porovnatelné hodnoty. [24]

$$3,7 * 0,3 = 1,11 Wh$$

$$1,11 * 0,001 = 0,00111 kWh$$

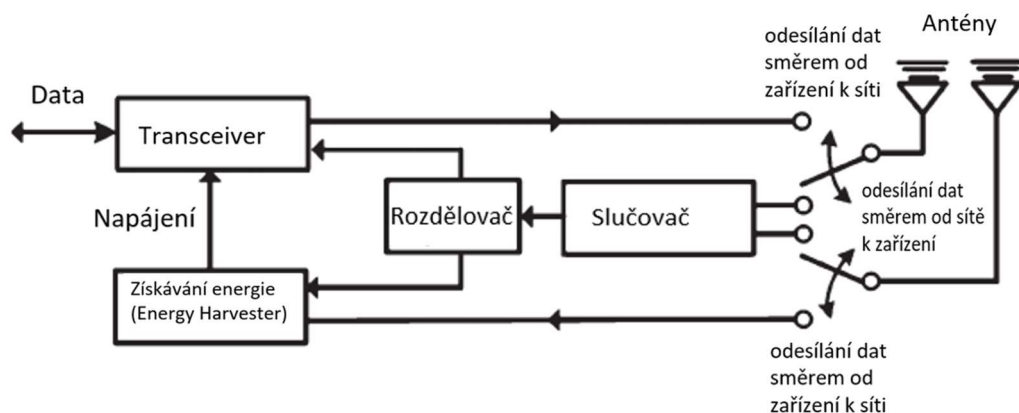
Je tedy zřejmé, že kapacita potřebná k běžnému provozu chytrých hodinek odpovídá přibližně promili energetického potenciálu lidského těla. Lidské tělo produkuje množství využitelné energie i při méně nápadných činnostech. Například je odhadováno, že z mechanické energie spotřebovávané na vydechnutí by mohla být část využita k pohonu generátoru elektrické energie o výkonu 1 W. Aniž by tím lidské tělo nebylo znatelně ovlivněno. Dále je odhadováno, že by se až 1/5 mechanické energie vyprodukované na chůzi dala využít k napájení wearables díky piezoelektrickému jevu. Kromě mechanické energie lidského těla lze využít i vyprodukované teplo použitím termoelektrických materiálů. Tento zdroj by byl při vhodné optimalizaci velmi výhodný i při sportovních aktivitách, jelikož by mohl napomáhat k řízenému ochlazení pokožky odváděním tepla. Bohužel pro potřeby konkrétně chytrých hodinek dochází k překážce spočívající ve velikosti kontaktní plochy chytrých hodinek a lidského těla. S ohledem na běžnou velikost hodinek je tato plocha poměrně malá a tím pádem je zde i malý potenciál získání energie z vyprodukovaného lidského tepla. Na druhou stranu jeden z výrobců chytrých hodinek uvádí, že své chytré hodinky nabíjí prostřednictvím energie získané z tepla lidského těla. Zároveň uvádí, že nejde o doplňkový způsob nabíjení, a že není potřeba hodinky nabíjet jakýmkoliv jiným způsobem. [24] [39]

Fotovoltaické články jsou další možností získávání energie pro chytré hodinky formou „energy harvesting“. Dnes jsou již komerčně dostupné hodinky, které mají v displeji zabudované transparentní fotovoltaické panely a okolo displeje proužek tvořený klasickým fotovoltaickým panelem. Vzhledem k množství slunečního záření dopadajícího na chytré hodinky při jejich standardním využití, jejich velikosti a efektivitě fotovoltaických panelů je zřejmé, že to nemůže být jediný nebo ani hlavní zdroj napájení. Nicméně je to cenný alternativní zdroj, který v tomto případě prodlužuje výdrž baterie chytrých hodinek na jedno nabití. Po zdokonalení fotovoltaiky to může být výkonná forma získávání elektrické energie z okolního prostředí a soběstačný zdroj nositelné elektroniky.

### 1.3.3 Technologie radiofrekvenčního nabíjení

Posledním řešeným zdrojem elektrické energie je technologie bezdrátového nabíjení na větší vzdálenost. Touto myšlenkou se zabýval již Nikola Tesla na začátku 20. století. Zástupcem této technologie je například komunikace pasivního a aktivního NFC členu, která byla řešena v podkapitole 1.1.8. Případně také obdobná RFID technologie, která byla řešena v podkapitole 1.1.9.

Problematikou radiofrekvenčního nabíjení se zabývala studie členů neziskové organizace IEEE z roku 2015. Ve studii jsou uvedeny teoretické principy pojednávající o architekturách radiofrekvenčních nabíjecích sítí. Dle autorů by bylo možné takto dálkově nabíjet mobilní telefony. Dokonce by se za účelem rozšíření dosahu nabíjecí zóny mohly samotné mobilní telefony využít jako opakovače nabíjecího signálu. Zajímavým poznatkem je, že nabíjení radiofrekvenčními technologiemi by fungovalo na obdobném principu jako běžně využívaný přenos informací mezi vysílačem mobilního operátora a mobilním telefonem. Do řešených témat patří také bezpečnost technologie ve smyslu dopadu na lidské tělo. Dle autorů sice byl několikrát ověřen vliv radiofrekvenčních vln na lidské tělo, ale v případě radiofrekvenčního nabíjení bude zřejmě potřeba využít mnohem větší intenzity. Před rozšířením technologie radiofrekvenčního nabíjení bude tedy nutné ověřit vliv radiofrekvenčních vln i o této intenzitě. Dále je věnován prostor návrhu možností struktury přijímače. Zmíněno je zde několik modelů. Za principiálně vhodný byl označen například převzatý model zobrazený na obrázku 4. [25]



Obrázek 4 - Vhodný princip přijímače pro radiofrekvenční nabíjení, přeloženo [26]

V závěru studie se autoři zabývali stanovením klíčových problematik, které bude potřeba překonat, aby se tato technologie mohla zrealizovat a využít v dostupné elektronice. Mezi tyto překážky patří rozvoj technologie jednotlivých komponentů, především pak antén vysílače, antén přijímače a RF/DC a DC/DC převodníků. Problémy s anténou, respektive se směřováním signálu, se objevují i v dalších odborných studiích na téma radiofrekvenčního nabíjení. Bude potřeba vyvinout materiál, díky kterému se výrazně zmenší velikost antény při zachování jejich radiových funkcí. To bude pro wearables klíčové, protože, jak již bylo zmíněno v úvodu této podkapitoly, jedním z požadavků na tato zařízení je jejich kompaktní velikost. [25]

#### **1.3.4 Cota®**

Nejdále se prozatím v technologii radiofrekvenčního nabíjení dostala společnost Ossia Inc. se svou technologií Cota®. Začátkem roku 2019 představili na veletrhu spotřební elektroniky v Las Vegas prototyp zařízení, které dokáže nabíjet mobilní telefon až na vzdálenost 3 metrů. Tento prototyp se skládá z vysílače a přijímačů v podobě krytů, které se nasadí na mobilní telefony a nebrání v jejich používání. K přenosu je využita bezpečná frekvence 2,4 GHz, kterou používá například technologie Wifi anebo Bluetooth viz podkapitola 1.1.11 a 1.1.12. Do budoucna se počítá i s využitím vyšší frekvence 5,8 GHz, která by přinesla výkonnější nabíjení.

Společnost zatím nevedla svá zařízení na trh, ale již mají schválenou certifikaci od FCC. Z rozsahu certifikace lze vyčíst parametry první generace jejich zařízení. Půjde o méně výkonnou frekvenci 2,4 GHz s nabíjecím výkonem 2 W pro každé připojené zařízení. Maximální vzdálenost nabíjení je 1 metr. Celkově jsou omezení certifikace velmi striktní vzhledem k výkonu, který dle zástupců společnosti jejich technologie má. Zástupci například mluví o výkonu 1 W na vzdálenost 10 m. Nicméně omezení jsou pochopitelná, protože se bude jednat o první komerčně dostupnou technologii tohoto druhu na světě. Kromě využití technologie pro dobíjení mobilních telefonů a podobných typů elektroniky, představila společnost také prototyp zařízení, které by mohlo nahradit alkalické, tzv. tužkové baterie. Jde o nabíjecí baterii se zabudovaným přijímačem podporujícím radiofrekvenční nabíjení. Díky tomu by bylo možné bezdrátově nabíjet jakékoliv zařízení, které využívá jako

zdroj alkalické tužkové baterie a je v dosahu Cota® vysílače. Technologie je zajímavá i z enviromentálního pohledu, jelikož by se ušetřilo velké množství neekologických alkalických baterií. V prostředí inteligentních budov by se tato technologie uplatnila mimo jiné u bezdrátově komunikujících senzorů, které nejsou trvale připojené k síti a jejich zdrojem energie jsou právě tyto alkalické baterie. Při vyšším počtu osazených senzorů by v tom případě odpadla jejich časově náročná výměna, protože by se baterie kontinuálně bezdrátově dobíjely. [27][28]

Dle zástupců Ossia Inc. již také probíhá komunikace s dalšími výrobci spotřební elektroniky. Je tím pádem možné, že se Cota® přijímače v průběhu roku 2020 objeví i v některých zařízeních od celosvětově populárních výrobců. [28]

### **1.3.5 Externí baterie**

Problém nabíjení wearables je možné řešit i další zatím nezmíněnou cestou. Dle názoru autora této práce by bylo teoreticky možné realizovat nabíjení pomocí přídatného modulu chytrých hodinek. Modul by svou velikostí mohl odpovídat samotným chytrým hodinkám. Jednalo by se v podstatě o externí baterii, která se dnes již často využívá k nabíjení mobilních telefonů. Zatímco by uživatel standardně využíval chytré hodinky, externí baterie by se připojením k elektrické síti nabíjela. V případě blížícího se vybití baterie v chytrých hodinkách by se externí baterie nasadila na hodinky a ty by se začaly dobíjet. Předpokladem je, že by externí baterie nebránila v běžném používání chytrých hodinek. Alternativní cestou je modul, který by se nasadil na displej hodinek, a k nabíjení by docházelo při spánku uživatele. Zabránilo by se málo pravděpodobnému využívání displeje, ale docílilo by se jednoduché manipulace a minimálního prostorového rozšíření celého zařízení.

## 2 Přínosy integrace wearables do inteligentních řídicích systémů

### 2.1 Možnosti integrace

Před návrhem možných využití wearables je žádoucí vyřešit způsob integrace. Je zřejmé, že komunikace musí být bezdrátová. Nabízejí se tedy technologie popsané v podkapitolách 1.1.10, 1.1.11, 1.1.12 a 1.1.13.

Napojení chytrých hodinek přímo na systém IB je způsob, který by měl být do budoucna v rámci integrace využit. Díky tomu nebude komunikace závislá na dalším členu, kterému může dojít baterie nebo se u něj může projevit porucha. Zároveň se vynecháním dalšího členu zkrátí doba reakce systému. Většina dnešních wearables je nicméně na tomto mezičlánku závislá a bez něj komunikovat nedokáže. Pro současné způsoby komunikace je tedy nutné využít mobilní telefon jako komunikačního prostředníka. I přesto existuje mnoho odlišných způsobů, jak integrovat wearables do řídicích procesů v budově. Autor pro potřeby této práce vybral a realizoval dva následující způsoby.

První způsob je určen pro malé instalace, které ovládají jen pár vybraných domácích elektrospotřebičů. Díky nízkým investičním nákladům je vhodný pro seznámení se s možnostmi wearables a v případě spokojenosti uživatele je vhodné přejít na komplexnější řešení. Spočívá ve využití domácích elektronických zařízení, které jsou ovládány dálkově pomocí WiFi, v kombinaci s mobilními aplikacemi umožňujícími automatizace. Prostřednictvím chytrých hodinek pak lze ovládat systém osvětlení, zapínat vybrané spotřebiče, regulovat otopná tělesa a mnoho dalších zařízení. Zároveň lze nadefinovat i scény viz podkapitola 1.1.8. Nicméně spolehlivost těchto řídicích systémů je nízká. Způsob je vhodný spíše jako dočasné nebo doplňkové řešení pro jednoduché funkce, kde není vyžadována vysoká spolehlivost.

Pro účely této práce autor sestavil inteligentní řídicí systém jedné místnosti, který zahrnoval WiFi zásuvky, WiFi spínač a chytré hodinky. Pomocí hlasového ovládání nebo pomocí displeje hodinek lze ovládat hlavní osvětlení místnosti,



sekundární osvětlení, ambientní osvětlení, televizi, monitor a digitální hodiny. Je nastavena funkce hromadného vypnutí všech spotřebičů a režim pro sledování televize, kdy se zapne televize s externím ambientním osvětlením, a naopak se zároveň vypnou ostatní světelné zdroje.

Druhý způsob využívá inteligentní řídicí systém na platformě KNX. Konkrétně jde pak o logický kontrolér Wiser. Jeho ovládací rozhraní lze přizpůsobit pro potřeby chytrých hodin a díky tomu lze z displeje hodin pohodlně ovládat veškeré zařízení připojené ke KNX síti. Řídicí systémy využívající KNX jsou velmi rozšířené díky svojí spolehlivosti a množství podporovaných zařízení. Na rozdíl od prvního způsobu jde o plnohodnotný inteligentní řídicí systém budovy, který je vhodný jako trvalé řešení. S tím souvisí i investiční náklady, které mnohonásobně převyšují první způsob.

V rámci této práce autor sestavil model inteligentního řídicího systému, který zahrnoval logický kontrolér Wiser s vlastním napájecím zdrojem, napájecí zdroj sběrnice, chytré hodinky a dotykový panel. Poslední jmenované zařízení sloužilo jako pomocný ovládací prvek, ale zároveň i jako demonstrační spotřebič. Pomocí chytrých hodin se na dotykovém panelu mění stav grafiky, která vypovídá o stavu případného ovládaného zařízení viz obrázek 5.



Obrázek 5 - Model inteligentního řídicího systému s využitím KNX

S ohledem na princip fungování KNX je zřejmé, že po přenastavení skupinových adres lze tímto způsobem ovládat jakékoliv KNX zařízení. Díky možnosti tvorby skriptů v rámci konfigurace logického kontroléru by se zřejmě v rámci tohoto modelu dalo dosáhnout i některých pokročilejších funkcí. Realizace těchto

pokročilých nastavení není součástí této práce, ale jeví se jako vhodné pokračování pro případné budoucí rozšíření tohoto tématu.

## **2.2 Možná využití wearables v obytných budovách**

Po provedené rešerši technologií lze přejít k návrhu funkcí. Jak již bylo řečeno, jedná se o funkce vycházející z interakce uživatele se systémem IB prostřednictvím wearables. Jednotlivé návrhy vycházejí z technologických možností wearables uvedených v kapitole 1, zásad integrovaného navrhování budov a autorem předpokládaných požadavků běžného uživatele. Pro potřeby návrhu bylo vycházeno z následujících požadavků:

- I. Požadavek na usnadnění a zefektivnění regulace stínících systémů
- II. Požadavek na usnadnění a zefektivnění regulace osvětlení
- III. Požadavek na usnadnění a zefektivnění regulace vytápění a chlazení
- IV. Požadavek na usnadnění a zefektivnění regulace větrání
- V. Požadavek na automatizaci často využívaných systémů
- VI. Požadavek na snížení energetické náročnosti budov a zvýšení podílu energií z obnovitelných zdrojů
- VII. Požadavek na zajištění kvality vnitřního prostředí budovy

### **2.2.1 Funkce související s využitím údajů z pohybových senzorů**

MEMS gyroskop zabudovaný v chytrých hodinkách lze využít dvěma způsoby. První z nich je zachycení ovládacích gest a druhý je sledování pohybu a polohy uživatele. Díky MEMS gyroskopu zabudovanému v chytrých hodinkách může systém IB zjistit, že uživatel přerušil provádění činnosti a může spustit relevantní funkce. Dále se při některých činnostech dá najít vzorec ve změnách polohy chytrých hodinek. S určitou mírou pravděpodobnosti může systém IB předpokládat, že uživatel právě vykonává nějakou činnost a podle toho nabídnout relevantní funkce. Například systém může rozpoznat, že se uživatel usadil k televizi a nabídnout mu zapnutí televize a související nastavení světel a žaluzií. S větší přesností můžou být rozpoznány činnosti, jako je psaní na klávesnici nebo ústní hygiena. V tomto případě lze uvažovat o automatickém spuštění funkcí, například se může automaticky otevřít vodovodní kohoutek nebo se spustí uklidňující hudba, aby si uživatel udělal

přestávku. V dnešní době jsou sice chytré hodinky schopné rozpoznat fyzickou neaktivitu uživatele, ale nedokáží rozpoznat její příčinu. Z toho důvodu by bylo pro přesnější rozpoznání této příčiny vhodnější využít údaje z pohybového senzoru. Dále se zde pro zpřesnění rozpoznání nabízí využití dat z mikrofonů viz podkapitola 1.2.4.

Do jisté míry lze gesty plně ovládat chytrou domácnost. Uplatnění zde může nalézt i technologie využívající údaje ze zvukovodu k rozpoznávání výrazu tváře viz podkapitola 1.2.3. Vzhledem k variabilitě vstupů je možné nastavit různá gesta pro ovládání světel, žaluzií, termostatu a dalších součástí chytré domácnosti. Gesta mohou být obdobně použitelná pro spuštění přednastavených uživatelských scén. Další využití gest může být v procesu autentizace. Při vstupu do místnosti se může provést gesto, které by nahradilo přihlášení pomocí radiofrekvenční čtečky. Efektivně toto přihlášení lze napárovat na jednoznačný pohyb při zmáčknutí kliky a otevření dveří. Na druhou stranu systém v tomto případě nerozpozná, o jakou místnost se jedná a bylo by to tedy nutné kombinovat s dalším rozlišovacím gestem. Druhým úskalím je varianta, kdy budou dveře do místnosti otevřené. Pak by bylo potřeba tento pohyb udělat na imaginárních dveřích. Dle názoru autora je varianta s přihlašováním se přes NFC čtečky praktičtější. Tato varianta bude podrobněji řešena v jedné z následujících podkapitol. Souhrnně lze říct, že dále bude uvažováno pouze s využitím údajů z MEMS gyroskopu k regulaci TZB systémů pomocí gest.

### **2.2.2 Funkce související s využitím údajů z mikrofonu a světelného senzoru**

Mikrofon zabudovaný do chytrých hodinek může být v první řadě využit pro hlasové ovládání. Při jeho využití se sníží počet potřebných zařízení a s tím i celkové pořizovací náklady chytré elektroinstalace. Pro komunikaci se systémem IB postačí jedny chytré hodinky namísto několika zařízení, které neustále zachycují a vyhodnocují změny akustického tlaku.

Pokročilejší funkcí je pak monitorování hladiny akustického tlaku v bezprostředním okolí uživatele. Po nastavení požadované hodnoty v decibelech může systém inteligentní budovy zesilovat nebo snižovat akustický výkon reproduktorů. Regulace by probíhala v závislosti na aktuální poloze uživatele, respektive v závislosti na aktuální hladině akustického tlaku v jeho bezprostředním okolí. Uživatel tak při pohybu po místnosti dosáhne automatické kontinuální regulace

hlasitosti na optimální požadovanou úroveň. Dosažená energetická úspora je v tomto případě minimální. Funkce je přínosná z pohledu kvality vnitřního prostředí, protože nedochází k vystavování uživatele zbytečně vysokým hodnotám hladiny akustického tlaku v blízkosti zařízení.

Vzhledem k optimalizaci výdrže baterie v chytrých hodinkách by bylo vhodné tuto funkci napárovat na přednastavenou scénu, např. „sledování televize“ nebo „poslech hudby“. Pokud by spuštění funkce nebylo napárované na spuštění konkrétní scény, chytré hodinky by zbytečně kontinuálně měřily hladinu akustického tlaku a bezdrátově by vysílaly pokyny pro regulaci hlasitosti. To by způsobilo výrazné zkrácení výdrže baterie.

Obdobně jako hladina akustického tlaku v okolí uživatele může být sledována i intenzita osvětlení. Data lze následně využít k regulaci osvětlení, respektive k zachování optimální hladiny intenzity osvětlení. Do toho může být krom umělého osvětlení zahrnuta i složka denního světla, která je regulována pomocí stínících systémů a měřena pomocí venkovní meteostanice.

Data ze senzorů chytrých hodinek lze využít jak pro spojitou, tak pro nespojitou regulaci. První z funkcí lze využít během dne, kdy se v závislosti na naměřených datech bude měnit výkon zdroje světla a poloha žaluzií. Optimální úroveň intenzity světla v bezprostředním okolí uživatele bude přednostně zajištěna regulací stínících prvků. Pokud nebude denní světlo dostačující, zapne se umělé osvětlení. Výkon světelného zdroje bude růst s postupným snižováním intenzity denního světla. U senzoru intenzity světla v chytrých hodinkách by bylo potřeba zajistit, aby nedocházelo k jeho zastínění. V tomto ohledu by bylo pro realizaci této funkce vhodnější využít jiný druh wearables, například chytré brýle, které by monitorovaly intenzitu světla u očí uživatele.

Díky chytrým hodinkám lze automaticky vypínat a zapínat jednotlivé světelné zdroje v závislosti na pohybu uživatele po budově a v některých případech i po místnosti. V případě pohybu po budově by samotný světelný senzor v chytrých hodinkách nestačil. Při nízké naměřené intenzitě by systém IB nevěděl, jaký světelný zdroj má spustit. Informaci o nízké intenzitě světla je nutné doplnit o údaj týkající se

přesné polohy uživatele v budově. Tato problematika je podrobněji rozebírána v podkapitole 2.2.4.

Obdobná funkce může být využita i při pohybu po místnosti rozdělené do dvou odlišných zón, jako je například obývací pokoj dispozičně propojený s kuchyní. Když uživatel vstoupí do místnosti, rozsvítí osvětlení v zóně 1. Pro tento příklad je zóna 1 obývací pokoj, ve kterém se nachází vstup do místnosti a zóna 2 je kuchyň. Když systém IB nedostane informaci, že je uživatel v jiné místnosti a naměřená intenzita světla na jeho hodinkách klesne, dojde k vypnutí osvětlení v zóně 1 a zapne se osvětlení v zóně 2. Obdobný postup nastane, když se uživatel vrátí do zóny 1.

### **2.2.3 Funkce související se spánkem**

Data získaná ze senzoru srdečního tepu a MEMS gyroskopu mohou být v souvislosti se spánkem vyhodnocena dvěma různými způsoby. Dá se podle nich poznat, zda je uživatel v bdělém stavu nebo ve spánku. Kromě toho se s jejich pomocí dá monitorovat kvalita spánku.

Podle kvality spánku lze určit vhodný okamžik pro spuštění buzení. Uživatel si nastaví nejpozdější čas probuzení, a pokud se během posledních 30 minut před nastavenou hodnotou ocitne v mělké fázi spánku, tak se spustí buzení dřív. Funkci lze integrovat do prostředí inteligentní budovy. S ohledem na čas probuzení uživatele může budova regulovat intenzitu přirozeného světla pomocí žaluzií. Je-li to potřeba, může spustit i umělé osvětlení s optimální teplotou chromatičnosti. Tím se zvýší kvalita vnitřního prostředí při vstávání a bude to mít pozitivní vliv na psychiku uživatele. V případě integrace dalších elektrospotřebičů do řídicího systému inteligentní budovy lze tuto informaci o probuzení využít i k jejich řízení.

Regulace teploty vzduchu v místnosti není tak rychle reagující systém jako osvětlení nebo žaluzie, tudíž jeho využití v návaznosti na proměnlivou dobu probuzení uživatele není tolik efektivní. Nicméně je možné najít vztah mezi aktuální kvalitou spánku a aktuální teplotou v místnosti. Systém IB může tuto závislost zaznamenávat a postupně zpřesňovat optimální teplotu během spánku. Případně může regulovat teplotu tak, aby byl spánek co nejvíce kvalitní. V letních měsících je možné snižovat teplotu v případě, když by systém vyhodnotil, že se uživatel

pravděpodobně probudí z důvodu příliš vysoké teploty vzduchu v místnosti. V zimních měsících by regulace fungovala obráceně. Je zřejmé, že by tato funkce zvýšila uživatelský komfort. Nicméně pro zjištění, zda by došlo i ke snížení energetické náročnosti budovy, by bylo potřeba provést sérii zkušebních měření. Jisté ovšem je, že tato jemná neustálá regulace není vhodná do akumulčních otopných soustav a je méně efektivní v budovách realizovaných v pasivním standardu. V případě akumulční soustavy by totiž docházelo k velkému zpoždění mezi zaregulováním a skutečnou změnou teploty vzduchu. Tím by docházelo ke snížení kvality vnitřního prostředí. I u pasivních budov se většinou mění teplota vzduchu velmi pomalu, takže by projevy regulace byly i v tomto případě opožděné.

Obdobně jako teplota vzduchu má na kvalitní spánek vliv i množství čerstvého vzduchu přiváděného do místnosti. V případě snižující se kvality spánku vzduchotechnika změní poměr recyklovaného a čerstvého vzduchu a tím může zabránit probuzení uživatele.

Další funkce vycházejí z oznámení systému IB, že uživatel přešel z bdělého stavu do spánku. Nastane-li tato situace, systém IB zkontroluje, zda jsou zatažené žaluzie, zhasnuté světlo a případně ztlumený výkon otopné soustavy. Pokud není vše správně nastaveno, tak potřebné akce automaticky provede. Dále může systém IB zkontrolovat, zda je nastavené buzení v souladu s událostmi z elektronického kalendáře. Následně může uživatele ve fázi lehkého spánku probudit a připomenout mu, že si má buzení nastavit.

Řídící systém může rozpoznat, že uživatel usnul v nesprávné místnosti. V tom případě může uživatele pomocí rozvibrování chytrých hodinek probudit a donutit ho přejít do vhodné místnosti. Uživatel tak předejde nekvalitnímu spánku na místě, které pro spaní není uzpůsobené. Míra intenzity nucení by samozřejmě musela být předem regulovatelná. Bude záležet pouze na úsudku uživatele, jestli upřednostní jistotu usnutí na správném místě i za cenu nepříjemných akustických signálů a vibrací, které se vypnou pouze po provedení autentizace v místnosti určené pro spánek.

Důležitým předpokladem pro všechny v této podkapitole zmíněné funkce je možnost nošení hodinek během spánku. Ochota nosit chytré hodinky během spánku je velmi subjektivní záležitost. Obecně lze říct, že by měly být hodinky, co nejlehčí,

nejmenší a z příjemných materiálů. Výdrž baterie v komerčně dostupných wearables je dostatečná pro celonoční provoz. Komplikace při používání mohou nastat u zařízení, které mají kapacitu baterie dostačující jen pro jednodenní použití. Zařízení tohoto typu je většinou potřeba nabíjet každý den. Při využití výše zmíněných funkcí dokonce dvakrát denně. To může být pro velkou část uživatelů nepřekonatelná překážka. I když uživatelé na toto méně komfortní využití přistoupí, mnoho uživatelů pravděpodobně nebude své zařízení pravidelně nabíjet a řídicí systémy nebudou mít potřebná data k regulaci. Pro tyto případy bude potřeba řídicí systémy inteligentních budov navrhnout vždy tak, aby při absenci aktuálních dat z wearables nedocházelo ke snížení kvality vnitřního prostředí pod přijatelnou úroveň. Bude nutné využít hodnoty zaznamenané během předešlých nocí nebo využít ekvitermní regulaci. Nutno dodat, že na základě skutečností uvedených v podkapitole 1.3 bude pravděpodobně docházet k postupnému zefektivňování zásobování wearables energií. Se zvyšující se výdrží baterie na jedno nabití odpadne nutnost častějšího nabíjení a s tím související možnost nedostatku dat o uživateli.

#### **2.2.4 Autentizace**

V předchozích podkapitolách byla několikrát zmíněna problematika autentizace uživatele v souvislosti se zjištěním jeho aktuální polohy. Výhody spolehlivého zjištění těchto informací o uživateli již byly probírány. Souhrnně lze konstatovat, že se díky autentizaci značně rozšíří možnosti využití wearables v inteligentní budově. Cílem této podkapitoly bude navrhnout možnosti autentizace pomocí wearables.

Autentizaci lze provádět manuálně. Uživatel při manuální autentizaci musí pro přihlášení do místnosti provést určitou činnost. Případně ji lze provádět automaticky, přičemž uživatel nemusí vykonat žádnou činnost navíc. Automatická autentizace je díky tomu mnohem komfortnější. Na druhou stranu systém manuální autentizace bude investičně méně náročný než systém automatický.

Navrhovaná manuální řešení zahrnují použití přihlašování se do konkrétní místnosti pomocí komunikace chytrých hodinek a NFC čipů umístěných u vstupu do místnosti. NFC čipy mohou být poměrně nenápadné a díky principu fungování této technologie nepotřebují být napojeny na zdroj elektrické energie viz podkapitola

1.1.8. Výhodou je nízká náročnost přihlášení. Stačí pouze při procházení dveřmi přiložit chytré hodinky na konkrétní místo. Vzhledem k malým rozměrům a nezávislosti na zdroji elektrické energie může být NFC čip umístěn do blízkosti dveřní kliky. Přihlášení by tedy probíhalo zároveň s otvíráním dveří a nebylo by potřeba vykonávat žádný pohyb navíc. U autentizace pomocí aktivního NFC čipu ve dveřní klíče se nabízí také nahrazení chytrých hodinek chytrým prstenem, který je dalším zařízením ze skupiny wearables. Alternativně by se mohla využít varianta přihlášení pomocí tlačítka zobrazujícího se na displeji chytrých hodinek. Přihlášení se do místnosti by nebylo limitované na konkrétní místo, ale proces přihlášení by se prodloužil a zkomplikoval, což by pravděpodobně vedlo k nevyužívání této funkce. Omezení spojené s NFC přihlášením mohou být vyřešena pomocí použití více NFC čipů pro jednu místnost.

Zautomatizovanou variantou je využití RFID technologie. UHF RFID čtečky zachytí přítomnost druhého zařízení až na vzdálenost několika metrů. Čtečky se nainstalují do dveřního rámu a při průchodu uživatele s hodinkami dojde k autentizaci. Bylo by nutné zajistit vhodné nastavení a odstínění antény tak, aby nedocházelo k chybám a k vzájemnému rušení.

Druhou variantou by bylo umístění Bluetooth vysílačů do každé místnosti. Chytré hodinky by se při vstupu do místnosti spárovaly s touto místností. Systém IB by tedy věděl, že je uživatel v dané místnosti a zároveň by byla zajištěna kontinuální komunikace mezi chytrými hodinkami a systémem IB. V souladu s podkapitolou 1.1.11 lze tvrdit, že toto řešení umožňuje připojení několika osob v jedné místnosti. Ve srovnání s předchozí variantou by zde vznikala určitá časová prodleva mezi vstupem do místnosti a odesláním této informace systému IB. To by způsobovalo nežádoucí zpoždění například u osvětlení. Další problém by mohl spočívat v překrývání dosahu jednotlivých vysílačů. Na rozdíl od RFID technologie je potřeba, aby byly chytré hodinky neustále v dosahu antény. Překrývání sítí by způsobovalo zkreslené informace o poloze uživatele, které jsou v tomto případě nepřijatelné. Problém by se teoreticky dal řešit aplikací stínících folií na problematiku stěny a vhodným výběrem či nastavením Bluetooth antény. Toto řešení je závislé na několika dalších aspektech a jeho použitelnost, dle názoru autora, nelze v teoretické



rovině ověřit. Bylo by potřeba provést několik zkušebních instalací, kde by se toto řešení otestovalo. Oproti tomu využití UHF RFID technologie je alespoň v teoretické rovině spolehlivější.

### **2.2.5 Regulace systémů TZB**

Nejvíce se nabízející funkcí je využití wearables k regulaci systémů TZB. V případě chytrých hodinek lze na displeji zobrazit uživatelské rozhraní, které umožňuje přehledné ovládání jednotlivých systémů TZB. Tím dojde ke zjednodušení a ke zvýšení dostupnosti ovládání. U jiných typů wearables lze využít sledování pohybu uživatele pomocí RFID nebo NFC technologie a tím jednotlivé systémy TZB regulovat automaticky.

Při vstupu uživatele do místnosti se například může automaticky spustit přednastavený režim osvětlení, který může být proměnný v závislosti na denní době a podle požadavků jednotlivých uživatelů. Kromě toho lze dle požadavků uživatele automaticky regulovat výkon otopných těles, regulovat přísun čerstvého vzduchu, spustit ohřev teplé vody nebo nastavit jinou polohu stínícího systému.

Obecně může vést využití wearables ke zjednodušení regulace TZB systému, které zvýší četnost jejího využití. Tím lze dosáhnout energetických úspor, jelikož se zabrání zbytečnému chodu systémů, když se v místnosti nikdo nenachází. V druhé řadě se pak zvýší množství dat, které získá systém IB o uživateli. Na základě těchto dat může optimalizovat model chování uživatele a lépe předpokládat jeho požadavky v budoucnu.

Zefektivnění systému pro přípravu teplé vody je nejvýraznější v případě využití wearables ve všech bytových jednotkách v rámci jednoho bytového domu. V tom případě by přicházela v úvahu možnost upustit od centrálního zásobníku teplé vody a omezit cirkulaci. Díky regulaci s využitím wearables by se teplá voda mohla připravovat centrálním průtokovým ohříváčem. Uživatelé by si v předstihu museli zapnout tento ohřev pomocí wearables, ale díky vypuštění zásobníku a omezení cirkulace by došlo k energetické úspoře ve výši přibližně 20 %. Formu systému, způsob regulace a úspory by bylo možné stanovit až pro konkrétní řešenou budovu.

Samozřejmě by se systém musel navrhnout s ohledem na platnou legislativu a muselo by se dbát na dodržení hygienických požadavků. [31]

V rámci úpravy samostatného bytu, je možným řešením bytová předávací stanice. Ta sice sama o sobě může obyvatelům přinést významné finanční úspory při přípravě teplé vody, ale i její provoz lze optimalizovat pomocí wearables. Například lze omezit cirkulaci a vytápění primární strany, když zrovna není zajištěn odběr teplé vody. Nicméně pro většinu bytových jednotek nemá bytová cirkulace opodstatnění, tudíž vzniklé úspory budou minimální. Kromě bytových předávacích stanic lze dynamické ovládání prostřednictvím wearables využít u systému samoregulačních kabelů HWAT. Pomocí rozhraní na displeji hodinek může uživatel systém zapínat až před využitím teplé vody. Snížením průměrné teploty vody se sníží tepelné ztráty potrubí a s tím související spotřeba systému. Úspora vody zůstane zachována. Nutno dodat, že samostatný systém HWAT je v porovnání s klasickým systémem s cirkulací v bytovém domě přibližně třikrát energeticky úspornější. Na druhou stranu po započítání faktorů neobnovitelné primární energie se dostaneme k podobným výsledkům v obou systémech. Nicméně při využití regulace pomocí wearables, která je u systému HWAT efektivnější, je tento systém úspornější. [32]

U rodinných domů a menších objektů, kde dochází k přípravě teplé vody s využitím zásobníků, lze prostřednictvím chytrých hodinek předehtvat jen skutečně potřebné množství teplé vody. Díky tomu se omezí tepelné ztráty zásobníku, protože se sníží průměrná teplota v něm uložené vody. Řešení není aplikovatelné v systémech, kdy se k ohřevu vody využívá elektrická energie v režimu nízkého tarifu.

Úspory otopné soustavy ve většině případů nebudou výrazné, jelikož od 1. 1. 2020 musí mít všechny novostavby vlastnosti srovnatelné s pasivním standardem. Důvodem pro to je legislativní povinnost plynoucí z vyhlášky č. 78/2013, která odkazuje na hodnoty uvedené v ČSN 730540. Díky tomu se sníží potřeba tepla na vytápění a zároveň se omezí rychlé změny teploty vzduchu uvnitř budovy. Regulační systémy otopných soustav jsou zároveň již dnes na vysoké úrovni. Další zefektivnění regulace otopné soustavy tedy přinese úspory jen v řádu několika jednotek procent, ale s ohledem na podíl vytápění na celkové energetické náročnosti budov je to nezanedbatelná úspora.

Přesné stanovení výše uvedené úspory je možné pouze prostřednictvím velmi podrobného výpočtu s dostatkem vstupních dat. Při nedostatku vstupních dat lze pro stanovení odborného odhadu využít výsledky již provedených výzkumů zabývajících se obdobnou problematikou. Vzhledem k automatickému sledování pohybu uživatele v budově je vhodné nastavit harmonogram vytápění po jednotlivých místnostech. Obdobnou problematikou energetických úspor při rozdělení vytápění budovy do zón se podrobně zabýval J. Cockroft a kol. Ve své studii shrnuli výsledky předchozích prací, ze kterých například vyplývá, že při zavedení zónového vytápění se dá obecně dosáhnout energetické úspory ve výši 11–15 %. V jiné studii zabývající se přímo regulací vytápění podle pohybu uživatele po budově se podařilo dosáhnout 12% úspory. Další zmíněná studie prokázala, že vlivem zbytečného vytápění obývacích pokojů se ztratí v průměru 6,2 % primární energie spotřebované na vytápění. U ložnic je to dokonce 9,7 %. V rámci své vlastní studie J. Cockroft srovnával budovy před a po zavedení zónového vytápění. Ve své studii rozlišoval výsledky podle typu budovy, typu obyvatel a četnosti otevírání dveří mezi zónami. Většina posuzovaných budov měla nekvalitní obálku budovy. V práci je také zmíněno, že energetické úspory způsobené zónovým vytápěním výrazně klesají se zvyšující kvalitou obálky budovy. Pro budovy s pasivním standardem může být investice do zónového vytápění dokonce nerentabilní. Výsledky této studie prokázaly průměrnou energetickou úsporu po zavedení zónového vytápění ve výši 20 %. Výsledky pro jednotlivé skupiny jsou uvedeny v tabulce 2. [33]

*Tabulka 2 - Výsledky studie zabývající se úsporou při zónovém vytápění [33]*

Typ budovy	Otevírání dveří [%]	Mladá rodina - úspora [%]	Rodina s dospívajícími dětmi - úspora [%]	Postarší pár - úspora [%]	Mladý pár - úspora [%]
Dvojdomek	0	21,9	22,7	25,8	28,1
	10	18,6	19,4	21,8	24,5
	50	14,8	15,4	17,4	19,8
	100	13,2	13,0	15,8	17,3
Bungalov	0	23,9	25	27,3	33,3
	10	18,9	20,8	22,1	28,9
	50	13,8	15,4	15,9	22,5
	100	11,2	12,2	12,6	18,1

Klimatizace má v tomto ohledu mnohem větší potenciál. Kvalitní tepelná izolace budovy nezabrání ziskům od prostupu tepla okny radiací. Kompenzace této zátěže je většinou hlavním důvodem využití klimatizací. Klimatizační jednotky dokážou pružněji reagovat na aktuální požadavky než otopná soustava, jelikož je u nich realizováno ochlazování místnosti primárně pomocí přenosu tepla prouděním.

### **2.2.6 Integrace wearables do energetického managementu**

Kdyby měli odběratelé energie k dispozici informace o aktuálním přebytku elektrické energie v síti, mohli by tomu přizpůsobit své návyky a rozložení odběrů energie v čase. Předpokladem pro fungování tohoto systému jsou energetické tarify s cenou závislou na aktuálním přebytku energie v síti. Díky tomu by v energetické síti došlo k omezení energetických špiček, protože by se spotřeba uživatelů více rozložila do celého dne. Na straně odběratelů by pak docházelo k finančním úsporám, pokud by byli ochotni přizpůsobit své návyky aktuální situaci v síti.

Změnou návyků se rozumí přizpůsobení času provádění některých činností podle aktuální situace v síti dodavatele. Mezi činnosti, které lze takto regulovat patří například žehlení, mytí nádobí v myčce a praní prádla. Chytré hodinky mohou fungovat jako prostředník mezi uživatelem a tímto energetickým managementem. Upozorňovaly by na vhodné doby pro konkrétní činnosti a zároveň by se pomocí nich daly některé činnosti spouštět.

Akce, které přímo nevyžadují účast uživatele, jako je například spuštění praní prádla v automatické pračce, lze provádět i automaticky bez potvrzení uživatele. Nicméně chytré hodinky do celého procesu šetrně integrují úsudek uživatele. To by bylo zpočátku využívání těchto procesů klíčové pro jejich oblíbenost a s tím související rozšíření.

Ekvivalentně lze jako vstupní data využít údaje z domácí fotovoltaické elektrárny namísto údajů z energetické sítě. Na rozdíl od dat z přenosové sítě mají dnes již uživatelé údaje o domácí fotovoltaické elektrárně většinou k dispozici. Mezi problémy domácích fotovoltaických elektráren patří nesoučasnost výroby a odběru elektrické energie. Situace se dá řešit bateriemi, ale ty mají omezenou kapacitu a tradiční způsoby výroby baterií jsou velmi energeticky náročné. Díky zavedení

domácího energetické managementu se prostřednictvím chytrých hodinek optimalizuje využití elektrické energie v čase. Když bude produkce převyšovat odběr, chytré hodinky uživatele upozorní, že je vhodný čas pro některou energeticky náročnou činnost. Dle situace se pak uživatel rozhodne, zda bude toto hlášení ignorovat nebo ne. Stejná situace nastane, pokud bude odběr převyšovat výrobu. Chytré hodinky doporučí energeticky náročnou činnost přerušit a odložit. Do tohoto systému lze zapojit i meteorologické údaje a s určitou pravděpodobností lze pak jednotlivé činnosti plánovat na konkrétní čas.

## **2.3 Možná využití wearables v neobytných budovách**

Některé funkce z podkapitoly 2.2 lze v upravené podobě aplikovat i v dalších typech budov. S odlišnými požadavky na samotnou budovu ale přichází i další možnosti, jak wearables využít. Využití pro vybrané druhy budov bude probíráno v následujících podkapitolách.

### **2.3.1 Funkce pro administrativní budovy**

Přístupové systémy jsou dnes součástí téměř každé moderní administrativní budovy. Většinou se k identifikaci a k následnému udělení přístupu do konkrétních prostor využívá osobní průkaz fungující na RFID principu. Wearables by mohly tyto průkazy nahradit a zároveň by mohly být využity i pro další účely. Chytré hodinky můžou na rozdíl od ID karty sloužit i k obousměrné komunikaci. Díky tomu může uživatel regulovat část systémů TZB, vyřizovat vybrané pracovní záležitosti a komunikovat s dalšími systémy budovy. To vše prostřednictvím chytrých hodinek.

Výhodou wearables je možná kombinace s dosavadními systémy a jejich variabilita. Pro jeden přístupový systém mohou zaměstnanci využívat dosavadní RFID karty, chytré hodinky, chytré náramky, chytré prsteny a další obdobná zařízení. V případě některých wearables se také sníží počet případů, kdy si je zaměstnanci zapomenou vzít s sebou do zaměstnání.

Ve společných kancelářích lze při správném nastavení regulovat TZB systémy podle aktuálních požadavků většiny přítomných. Každý by mohl zadat svůj požadavek a výsledný průměr požadavků by se projevil v řídicím systému. Odpadl by tím častý problém nespokojenosti zaměstnanců s prostředím, a to minimálně

z psychologického hlediska. Už jen samotná možnost ovlivnění pracovního prostředí pravděpodobně učiní uživatele spokojenějším, a to aniž by k ovlivnění skutečně došlo.

Pomocí UHF RFID bran umístěných na vstupech do místností by bylo umožněno automatické anonymní sledování množství osob v těchto místnostech. U místností s větší kapacitou a proměnným provozem by se na základě těchto dat mohla řídit vzduchotechnika v místnosti.

### **2.3.2 Funkce pro nemocnice**

Pro potřeby nemocnic se wearables využijí především díky svým zdravotním funkcím jako je například sledování srdeční aktivity. Je pravdou, že většina dostupných typů zařízení zatím nemá potřebnou certifikaci, aby mohla být využívána k lékařským účelům. Na druhou stranu poslední model jedněch z nejrozšířenějších chytrých hodinek certifikaci pro měření EKG má, takže je pravděpodobné, že tato zařízení budou rychle přibývat. Wearables mají potenciál většinu lékařských měřících přístrojů v nemocnicích nahradit. Obdobně jako v obytných budovách by tak mohlo dojít ke snížení celkových investičních nákladů. Zároveň by se snížila náročnost jejich obsluhy, protože by nebylo potřeba manipulovat s rozměrnými zařízeními. Zjednodušilo by se i jejich ovládání, protože by se více funkcí integrovalo do jediného zařízení. Veškeré naměřené hodnoty by se ukládaly do jedné společné databáze, kde by byly snadno přístupné a porovnatelné.

S ohledem na aktuálně dostupnou technologii by certifikovaná zařízení mohla být využívána jako doplňkové měřící systémy. Výpočetní mechanismy ve výše zmíněných hodinkách dokážou některé srdeční příhody i předvídat, čímž dokonce předčí některé doposud využívané certifikované přístroje. Některé typy wearables dnes již dokážou kontinuálně měřit i vnitřní teplotu uživatele. Autor této práce nenalezl takové zařízení certifikované pro Českou republiku. Nicméně i necertifikované zařízení může sloužit jako doplňkový zdroj informací, díky kterým lze předcházet zdravotním komplikacím. Další vhodnou funkcí je pak přivolání si nemocničního personálu v případě potíží. Pokud například pacient spadne z lůžka, může si prostřednictvím chytrých hodinek přivolat pomoc.

V nemocnicích jsou využitelné i již zmíněné regulace TZB systémů. S ohledem na enormní spotřeby energií na provoz nemocnic by mohlo i malé zefektivnění regulace přinést signifikantní úsporu. Zároveň by se zefektivnila a zjednodušila práce personálu, kterého je značný nedostatek. Při vstupu do nemocničního pokoje by se například zdravotní sestře na chytrých hodinkách automaticky načetlo ovládací rozhraní konkrétního pokoje. Veškeré nastavování přístrojů a systémů by bylo proveditelné i pomocí wearables. Možnost regulace TZB systému prostřednictvím chytrých hodinek by měla značný přínos i pro pacienty s omezenou možností pohybu.

Za zmínění stojí také možnost sledování pohybu pacienta v případech, kdy to bude vhodné z pohledu etiky a osobních svobod. Tato funkce připadá v úvahu například v případech, kdy může být pacient sobě nebo okolí nebezpečný.

### **2.3.3 Funkce pro domovy pro seniory**

Wearables mohou těmto zařízením sloužit do značné míry podobně jako nemocnicím. Vhodné je využití regulace TZB systémů pro osoby se sníženou možností pohybu a využití nouzového přivolání pomoci. Některé typy chytrých hodinek také samy dokážou rozpoznat pád uživatele a následně automaticky přivolají pomoc. Dále je užitečné nepřetržité sledování zdravotního stavu klientů, díky čemuž lze předcházet zdravotním komplikacím. Klienti se zhoršenou pamětí, např. s kognitivní poruchou nebo demencí, ocení i možnost nastavení upomínek na chytrých hodinkách, které by u sebe neustále nosily. Na displeji chytrých hodinek se zobrazí například upomínka na léky a zmizí až po potvrzení uživatelem. Obecně používání chytrých hodinek může vést k rozvíjení mentálních schopností a udržování klientů v dobré psychické kondici.

Pro domovy pro seniory je nutné optimalizovat uživatelské rozhraní chytrých hodinek pro potřeby seniorů. Případně je možné využít chytré náramky, které jsou na ovládání méně náročné. S ohledem na požadavky klientů lze jednotlivé funkce zavádět postupně a zaručit funkčnost budovy i v případě nevyužívání chytrých hodinek.

## 2.4 Wearables a opatření pro chytrou karanténu v budovách

Využitelné funkce wearables v budovách lze v rámci této problematiky rozdělit do tří kategorií podle technologie, která je umožňuje.

Pomocí Bluetooth mohou chytré hodinky monitorovat okolí uživatele a zaznamenávat potencionální zdroje nákazy v jeho okolí. Jeden ze způsobů monitorování je již v rámci chytré karantény využíván, ale prostřednictvím chytrých mobilních telefonů. Jde o systém, kde by si chytré hodinky ukládaly zařízení, která se nacházela v jejich okolí. Mezi zaznamenávaná zařízení by patřily jak ostatní wearables s Bluetooth, tak i chytré mobilní telefony. Pokud by se u jednoho z uživatelů objevil pozitivní test na nákazu, uživatelé, kteří se nacházeli v jeho blízkosti, dostanou na svá zařízení upozornění. S integrací wearables do tohoto systému se zvýší množství zařízení, které uživatelé nosí u sebe a tím pádem se zvýší i efektivita celého systému. [40]

Kromě zpětného upozornění můžou chytré hodinky monitorovat i aktuální vzdálenost od ostatních zařízení. Funkce najde své uplatnění především na pracovištích při dodržování bezpečných odstupů mezi pracovníky. V souladu s nařízenými opatřeními lze nastavit minimální vzdálenost a dobu kontaktu dvou zařízení. Kromě pracovišť lze funkci využít v podstatě ve všech budovách, kde se shromažďují lidé a kde je potřeba dodržovat předepsané rozestupy. Jde například o obchody, nemocnice a školy. Nechat posuzování vzdálenosti rozestupů na lidech může být nespolehlivé, a to z důvodu špatného odhadu vzdálenosti a z důvodu neuvědomění si přítomnosti jiné osoby ve své blízkosti. V závislosti na požadavku uživatele lze nastavit formu signalizace v případě přiblížení jiného zařízení. Může jít například o vibrace nebo o krátký zvukový signál. [30]

Zatímco díky Bluetooth se omezí přenos nemoci vzduchem případně kapénkami, tak využitím NFC technologie se omezí přenos kontaktem s infikovanými plochami. Využití se projeví například u ovládání systému technologických zařízení v budovách s větší koncentrací lidí. Pokud jde o jednoduché ovládání, kterým je například přivolání výtahu, potřebnou akci je možné provést pouze pomocí přiblížení wearables ke čtečce. V případě, že chce uživatel zvolit konkrétní cílovou stanici, lze



pomocí NFC čipu dočasně spárovat wearables a ovládací systém výtahu. Následně si uživatel navolí požadovanou stanici na displeji svých chytrých hodinek, aniž by se musel dotýkat ploch s možností výskytu nákazy. Obdobně lze funkci využít i při regulaci ostatních systémů TZB například v administrativních budovách. Dnes je již možné nalézt ekvivalentní opatření v platebních systémech v obchodech. Pomocí elektronické platební karty nahrané do wearables nebo chytrého telefonu lze platit zcela bezkontaktně, a to i bez zadání PIN. Omezí se tím kontakt s platební bránou, které se při využití klasické platební karty dotýká většina takto platících zákazníků.

Poslední kategorii tvoří funkce závislé na senzorech pro měření teploty. Jak již bylo zmíněno, existuje zatím pouze několik málo wearables, které by spolehlivě měřily teplotu lidského těla. Autorovi se dokonce nepovedlo najít žádné obdobné zařízení, které by v současnosti mělo českou certifikaci pro zdravotnické přístroje. Nicméně s ohledem na existenci takových zařízení v zahraničí je zřejmé, že je to spíše administrativní než technologická překážka.

Chytré hodinky by mohly uživatele varovat při zvýšení jeho tělesné teploty, které je častým příznakem onemocnění. Měření by mohlo probíhat kontinuálně, ale to by přineslo významné zkrácení výdrže baterie. Vhodnější by bylo provést měření vždy při opuštění bydliště a při vstupu do veřejné budovy. Při rozšíření systému mezi širokou veřejnost by se u vstupu do veřejných budov mohly instalovat přístupové systémy, které by komunikovaly s wearables přichozích. Přístup by byl umožněn pouze osobám, jejichž chytré hodinky při vstupu nenaměří uživateli zvýšenou teplotu nebo nenaměřili zvýšenou teplotu v posledních dnech. Systém by mohl nahradit pracovníky, kteří měří teplotu u vstupu do budovy ručně. Případně by mohl sloužit jako alternativní způsob vstupu do budovy, který by celý proces urychlil.

Veškeré navrhované funkce v této podkapitole vychází pouze ze spojení technologických možností chytrých hodinek a obecně známých požadavků na omezení šíření nemocí. Před zavedením některých z těchto opatření by bylo potřeba zhodnotit jejich závaznost s ohledem na etiku a případné omezování osobních svobod.

## **3 Návrh chytrého řídicího systému domácnosti bez a s využitím wearables**

V této kapitole je uveden návrh dvou chytrých řídicích systémů. Nejprve je pro účely energetického a ekonomického srovnání navržen standardní chytrý řídicí systém zahrnující běžně používané ovládací prvky. Tento návrh je uveden v podkapitole 3.3. Hlavní návrh, který zohledňuje potenciál využití wearables v systémech IB je proveden v podkapitole 3.4. Oba návrhy jsou realizovány pro stejný rodinný dům. Pro každý z návrhů je pak k této práci přiložena také výkresová dokumentace.

### **3.1 Použitý rodinný dům**

Podkladem pro návrh je jednopatrový rodinný dům nacházející se v Praze, v Malé Chuchli. Svislé nosné konstrukce jsou skládané z cihel. Vodorovné nosné konstrukce jsou z železobetonu. Dům je zakryt plochou zelenou střechou. Budova je zateplena kontaktním zateplovacím systémem s vrstvou minerální vaty o tloušťce 250 mm. Součinitelé prostupu tepla jednotlivých konstrukcí splňují doporučené hodnoty z ČSN 730540.

Rodinný dům je dispozičně řešen jako 3+kk se dvěma ložnicemi. Dům je vytápěn prostřednictvím otopných hadů umístěných v podlaze. Chlazení je zajištěno klimatizační jednotkou. Jelikož se jedná o Multi split systém, je umožněno zónové chlazení. Zdrojem tepla pro vytápění a přípravu teplé vody je plynový kondenzační kotel se zásobníkem teplé vody. Větrání je zajištěno pomocí vzduchotechnické jednotky s rekuperací. K dispozici je doplňkový zdroj elektrické energie v podobě domácí fotovoltaické elektrárny. Výkon FV je 2,5 kWp. Instalovány jsou předokenní hliníkové rolety.

### **3.2 Přehled funkcí využitých pro návrh chytré domácnosti**

#### **3.2.1 Sledování přítomnosti**

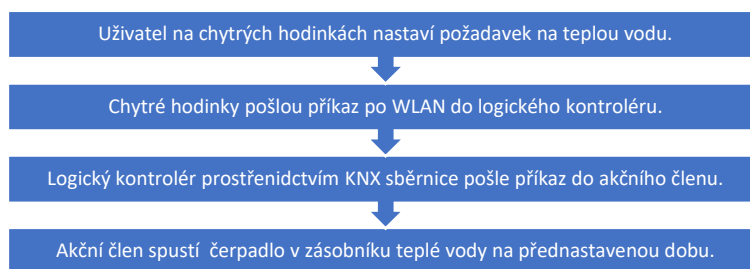
Wearables budou využity ke sledování přítomnosti obyvatel v místnosti. Nahradí pohybová čidla a na rozdíl od nich dokáží rozpoznat, jaký uživatel se právě

v místnosti nachází. Vícenáklady vzniknou při nákupu UHF RFID čteček. Odpadne potřeba instalace některých pohybových čidel.

### 3.2.2 Manuální regulace TZB systémů

Uživatel si na displeji chytrých hodinek může zobrazit rozhraní, pomocí kterého může regulovat teplotu vzduchu, osvětlení a přípravu teplé užitkové vody viz obrázek 6. Chytré hodinky budou využity také jako mikrofon pro hlasové ovládání a údaje z MEMS gyroskopu pro ovládání gesty. Konkrétní funkce v jednotlivých systémech TZB jsou popsány v podkapitole 3.4.

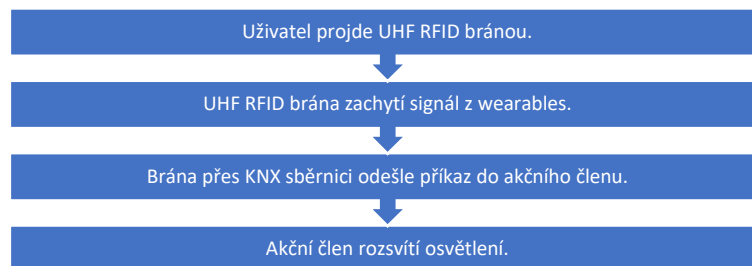
Je předpokládáno, že se díky častější regulaci sníží energetická náročnost provozu budovy o 5 %. V další fázi dojde k výpočetnímu ověření této úspory. Zároveň odpadne potřeba instalace ovládacích tabletů. Zachovány zůstanou pouze manuální kolébkové vypínače. Přidání této funkce nepřinese žádné vícenáklady.



### 3.2.3 Automatická regulace TZB systémů

Na základě údajů o přítomnosti se bude automaticky regulovat osvětlení, klimatizace, vytápění a vzduchotechnika viz obrázek 7. Osvětlení bude v provozu jen v případě, když bude někdo přítomen v místnosti. Pokud bude otopné období a nebude nikdo v místnosti přítomen, spustí se v systému vytápění režim EKO. V letních měsících se ve stejném případě přepne klimatizace do režimu EKO. Dle údajů o poloze uživatelů se také bude měnit nastavení vzduchotechniky.

Když bude v objektu více osob, bude možné automatické regulace jednoduše deaktivovat, aby nedocházelo k chybovým stavům. Konkrétní funkce v jednotlivých systémech TZB jsou blíže popsány v podkapitole 3.4.



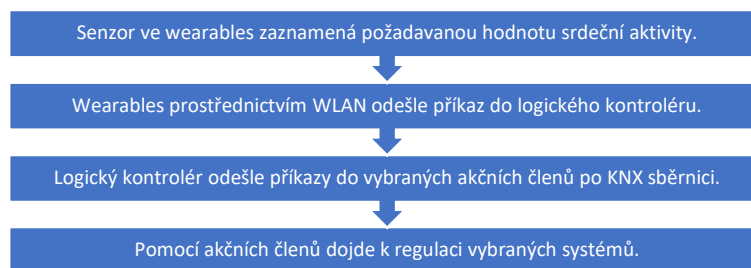
Obrázek 7 - Schéma automatické regulace TZB systémů

Data z manuální a automatické regulace budou sbírána a vyhodnocována. Na základě těchto dat bude vytvořen model chování uživatelů. Před předpokládaným odchodem z místnosti dostane uživatel návrh na snížení výkonu otopného tělesa nebo klimatizace. Tyto automatické návrhy regulace bude možné zrušit nebo potvrdit na displeji chytrých hodinek.

Je předpokládáno, že se díky zefektivnění automatické regulace TZB systému sníží energetická náročnost provozu budovy o 5 %. V další fázi dojde k výpočetnímu ověření této úspory. Je uvažováno, že nebude potřeba navyšovat výpočetní kapacitu systému, tudíž toto opatření nepřinese žádné vícenáklady.

### 3.2.4 Zkvalitnění spánku uživatele a další funkce související se spánkem

Na základě údajů o srdeční aktivitě a údajů z pohybových senzorů bude vyhodnocována aktuální fáze spánku uživatele. Pokud se uživatel v předem stanoveném časovém úseku bude nacházet ve vhodné fázi, hodinky začnou vibrovat a tím uživatele probudí ze spánku. Současně s tímto probuzením dojde k mírnému osvětlení místnosti viz obrázek 8. V závislosti na údajích z venkovní meteorostanice dojde ke změně polohy stínících systémů nebo k rozsvícení umělého osvětlení. Umělé osvětlení bude mít nízkou teplotu chromatičnosti a nízkou intenzitu. Současně s probuzením také dojde ke zvýšení požadované teploty vzduchu v nadefinovaných místnostech. Je předpokládáno, že když bude mít uživatel jistotu automatického zvýšení výkonu otopných těles po probuzení, bude ochoten snížit jejich výkon během spánku.



Obrázek 8 - Schéma spánkové funkce

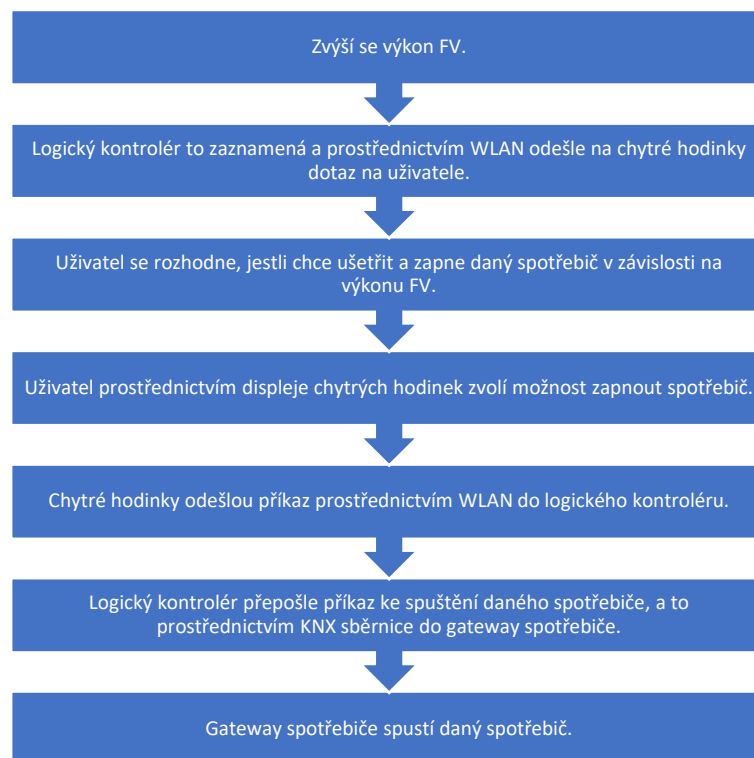
Při přechodu uživatele z bdělého stavu do spánku dojde k ověření, v jaké místnosti se uživatel nachází. Pokud se uživatel nebude nacházet v místnosti předem určené pro spánek, začnou hodinky ve vhodné spánkové fázi uživatele vibrovat a tím uživatele probudí. Tato funkce nesníží energetickou náročnost budovy, ale dojde ke zvýšení komfortu uživatele.

Při přechodu uživatele z bdělého stavu do spánku se automaticky vypne osvětlení a přeruší se přívod elektrické energie do dalších spotřebičů v celé domácnosti. Půjde například o přerušení přívodu do televizoru, monitoru, kuchyňských spotřebičů a dalších zařízení, které zbytečně spotřebovávají energii. Ve většině případů bude možné uvažovat i o vypnutí WiFi routeru, ale před probuzením se bude muset automaticky zapínat.

Je předpokládáno, že díky funkcím uvedeným v této podkapitole se sníží energetická náročnost provozu budovy o 5 %.

### 3.2.5 Zefektivnění využití fotovoltaických panelů

Chytré hodinky budou fungovat jako prostředník pro komunikaci s energetickým managementem domácnosti. V závislosti na aktuálním výkonu fotovoltaických panelů bude prostřednictvím chytrých hodinek doporučováno, jestli je vhodné provést energeticky náročné činnosti hned, anebo jestli je odložit viz obrázek 9. U některých činností bude možné i jejich spuštění prostřednictvím chytrých hodinek. Baterie zůstane součástí domácí sítě, ale sníží se požadavek na její velikost a množství elektrické energie, které přes ni projde.



Obrázek 9 - Schéma efektivního využití FV

Řešení přinese pouze malé energetické úspory. Zvýšením přímého odběru z panelů se sníží ztráty systému, které by vznikaly při nabíjení a vybíjení baterie. Na druhou stranu se zvýší podíl obnovitelných zdrojů v energetickém mixu domácnosti, čímž výrazně klesne spotřeba primární energie. Zároveň bude možné instalovat menší baterii. Vlivem snížení kapacity baterie se sníží energetická náročnost její výroby. Svázané hodnoty energií konstrukcí a zařízení nebudou předmětem dalšího výpočtu, takže se tato energetická úspora v rámci této práce neprojeví. Zvýšení podílu obnovitelných zdrojů povede ke snížení měsíčních nákladů na elektrickou energii dodávanou za síť.

### 3.2.6 Doplnkové funkce zvyšující komfort uživatele

Na displej chytrých hodinek bude možné přenášet obraz z kamery umístěné u vstupu do budovy. Zároveň bude umožněno pomocí mikrofону a reproduktoru chytrých hodinek s příchozí osobou komunikovat a vpustit ji do objektu. Standardně je tato funkce realizována pomocí ovládacích tabletů. Nicméně, jak již bylo uvedeno v podkapitole 3.2.2, tablety nebudou instalovány, tudíž díky migraci této funkce na chytré hodinky nedojde k jejímu zániku.

Pomocí uživatelského rozhraní na displeji hodinek a hlasových pokynů zachycených mikrofonom v chytrých hodinkách bude možné ovládat domácí audio a video systémy.

### **3.3 Řídící systém chytré domácnosti bez využití wearables**

Návrh řídicího systému spočívá ve stanovení požadovaných funkcí a jednotlivých procesů, které tyto funkce budou realizovat. Dále pak ve výběru konkrétních zařízení a jejich rozmístění po objektu.

Požadavkem na první navrhovanou domácnost je inteligentní regulace osvětlení a stínících systémů. Dále je pak požadována integrace ovládání těchto soustav do centrálního systému přístupného přes dotykové tablety, kolébkové vypínače a pomocí hlasových pokynů. Pomocí centrálního systému má být možné regulovat i otopnou soustavu, vzduchotechniku, klimatizaci, většinu zásuvek nízkého napětí a některé velké domácí spotřebiče. Přístup do centrálního systému má být umožněn i pomocí chytrých telefonů.

Inteligentní regulace osvětlení je umožněna díky několika pohybovým sensorům. Sensory jsou v obytných místnostech umístěny tak, aby zachytávaly pohyb osoby přicházející do místnosti a ne pohyb osoby po místnosti. To zajistí rozsvícení při příchodu do místnosti a zároveň nebude docházet k nepožadovaným rozsvícením během pobytu v místnosti. V koupelně, chodbě a na toaletě je osvětlení řízeno pomocí pohybových čidel a kolébkových vypínačů. Když čidlo zaznamená pohyb, světlo se zapne. Pokud čidlo nezaznamená pohyb déle než 5 minut, tak se osvětlení vypne. Osvětlení lze regulovat i manuálně pomocí centrálního řídicího systému nebo pomocí kolébkových vypínačů.

Vzduchotechnika, respektive množství přiváděného čerstvého vzduchu je nastaveno na požadované hodnoty z ČSN EN 15665/Z1. Systém automaticky nereaguje na změnu počtu osob v objektu, protože tato data nejsou automaticky zaznamenávána. Vzduch je přiváděn rovnoměrně do všech obytných místností. Čidla CO<sub>2</sub> slouží jako pojistný systém, který při zvýšené koncentraci škodlivin zvýší množství přiváděného čerstvého vzduchu. Systém lze manuálně omezit v případě, že je objekt

neobývaný. Objem přiváděného vzduchu se opět navýší na standardní hodnotu, když pohybové senzory zaznamenají aktivitu v objektu.

Otopná soustava a klimatizace jsou regulovány manuálně prostřednictvím jednotného řídicího systému. Zároveň je možné nastavit pracovní harmonogram obou soustav, který bude zajišťovat řízení v závislosti na denní době. Nastavený harmonogram je jednotný pro všechny místnosti.

Pro venkovní stínící rolety lze také nastavit pracovní harmonogram, podle kterého se v předem definované časy budou měnit jejich polohy. Součástí ovládání je i pojistný systém, který rolety automaticky zatáhne, pokud se zvýší rychlost větru nad limitní hodnoty. K dispozici je i inteligentní řízení podle údajů z meteorologické stanice.

Připojená fotovoltaická elektrárna v tomto návrhu inteligentní řízení nemá. Při dostatku slunečního svitu pokrývá část spotřeby elektrické energie. Když nemá FV dostatečný odbyt, energie se ukládá do baterie.

Jednotlivá zařízení v domě komunikují na platformě KNX. Logické funkce jsou realizovány pomocí logického kontroléru Wiser. Díky Wiseru si může uživatel nadefinovat scény. Může jít o scénu spuštěnou při odchodu všech uživatelů z budovy nebo o scénu související se sledování televize. Řídicí systém přijímá vstupy ze senzorů, z dotykových tabletů a z dalších ovládacích prvků. Pomocí akčních členů instalovaných v rozvodné skříni se následně regulují požadované soustavy a provádí se zadané úlohy.

Napojení inteligentního řídicího systému na některé spotřebiče probíhá prostřednictvím Miele Gateway XGW 3000. Díky tomuto zařízení lze na platformě KNX obousměrně komunikovat s pračkou, se sušičkou, s troubou a s myčkou. Další spotřebiče lze ovládat pomocí ovladatelných elektrických zásuvek. Ovládací prvky pro hlasové ovládání a chytré telefony jsou do KNX integrovány pomocí zařízení 1Home Box. Klimatizace je do sítě KNX zapojena pomocí zařízení Foxtron KNX interface. Aktuální klimatické údaje jsou pro řídicí systém získávány z meteorologické stanice a z venkovního kombinovaného meteorologického snímače.



### 3.4 Řídicí systém chytré domácnosti s využitím wearables

Funkce pro tento návrh byly již obecně zmíněny v podkapitole 3.2. V této podkapitole je popsán vliv funkcí na konkrétní systémy TZB a z toho plynoucí úspory. Obdobně jako v prvním návrhu je stanoven požadavek na automatickou regulaci vybraných soustav. Na rozdíl od předchozího návrhu zde přibyla do inteligentní regulace i otopná soustava, klimatizace a vypínání některých zásuvek nízkého napětí. Dále je pak obdobně požadována integrace ovládání všech soustav do centrálního řídicího systému. V tomto případě ho bude možné ovládat i prostřednictvím chytrých hodinek.

Automatická regulace osvětlení je řízena pomocí UHF RFID bran umístěných ve vstupech do obytných místností a ve vstupu do objektu. Na rozdíl od předchozího návrhu zde probíhá autentizace, tudíž řídicí systém získává informaci, který uživatel do místnosti přišel. Díky tomu lze spolehlivě automaticky osvětlení nejen zapínat, ale i vypínat. Tímto opatřením se zkrátí roční doba provozu jednotlivých zdrojů světla. V ostatních místnostech je osvětlení řízeno pomocí pohybových čidel a kolébkových vypínačů, stejně jako v první variantě. Osvětlení lze regulovat i manuálně pomocí centrálního řídicího systému a pomocí kolébkových vypínačů.

Vzduchotechnika, respektive množství přiváděného čerstvého vzduchu je nastaveno na požadované hodnoty z ČSN EN 15665/Z1. Systém automaticky reaguje na změnu počtu uživatelů v objektu. Dle těchto hodnot mění množství přiváděného čerstvého vzduchu. Rozvod čerstvého vzduchu do místností závisí na aktuální poloze obyvatel. Pokud je v každé obytné místnosti jedna osoba, tak je vzduch přiváděn rovnoměrně do všech tří místností. Když někdo přejde do jiné obytné místnosti, vzduchotechnika bude přivádět větší podíl z přiváděného vzduchu do této místnosti. Díky těmto opatřením se v porovnání s první variantou energetické náročnost sníží jen minimálně. Z toho důvodu je v dalším výpočtu tato úspora zanedbána. Čidla CO<sub>2</sub> stejně jako v první variantě slouží jako pojistný systém, který při zvýšené koncentraci škodlivin zvýší množství přiváděného čerstvého vzduchu. Systém se automaticky omezí v případě, že je objekt neobývaný.

Pokud do obytné místnosti přijde uživatel, požadovaná teplota se automaticky přenastaví na jeho předdefinovanou hodnotu. Nicméně platí to pouze v případě, že místnost předtím nebyla obývaná. Když v místnosti déle než 5 minut nikdo není, spustí se ekologický režim vytápění se sníženým výkonem. Během spánku uživatele se automaticky sníží výkon otopné soustavy viz podkapitola 2.2.3. Provoz otopné soustavy jde řídit z centrálního řídicího systému, tudíž i pomocí chytrých hodinek. Díky těmto opatřením se sníží roční spotřeba tepla.

Chod vnitřní klimatizační jednotky v místnosti se přeruší v situaci, kdy se v místnosti nikdo nenachází déle než 5 minut. Po příchodu uživatele se zařízení opět automaticky spustí. Provoz klimatizace jde řídit z centrálního řídicího systému, tudíž i pomocí displeje chytrých hodinek. Vlivem využití wearables se sníží doba provozu ve standardním režimu a od toho se odvíjející spotřeba elektrické energie.

Díky integraci ohřevu teplé vody do centrálního řídicího systému lze teplou vodu připravovat až když je potřeba, čímž se sníží tepelné ztráty zásobníku. Integrace by byla možná i v první variantě, ale dle názoru autora využívání tohoto systému přichází v úvahu až s využitím chytrých hodinek. Ve variantě 2 si uživatel s předstihem spustí ohřev vody pro požadovanou činnost. Kotel do zásobníku ohřeje potřebné množství vody včetně předem nadefinované rezervy, aby nedocházelo ke snížení komfortu. Je nutné využít zásobník s optimálním konstrukčním řešením, který minimalizuje promíchávání vrstev vody s různou teplotou. Uživatel připravenou teplou vodu spotřebuje a během odběru již není voda dohřívána. Vlivem této regulace se kromě již zmíněných tepelných ztrát zásobníku teplé vody pravděpodobně dosáhne také celkové úspory teplé vody. Vzhledem k nejistotě uskutečnění této úspory nebude ve výpočtu dále uvažována. V případě potřeby může uživatel dočasně přepnout ohřev teplé vody do standardního režimu.

Venkovní rolety lze řídit pomocí časového harmonogramu regulace, ale zároveň mohou být řízeny podle údajů o spánku uživatele. Bližší specifikace je opět uvedena v podkapitole 2.2.3. Pojistný systém, řízení dle údajů z meteorologické stanice a ovládání pomocí centrálního řídicího systému je zachováno. Opatření související s venkovními roletami nepřinese žádné úspory, ale slouží ke zvýšení komfortu.

Elektřina z fotovoltaické elektrárny je efektivněji využívána, protože některé spotřebiče se spouštějí v závislosti na aktuálním výkonu FV. Vždy je nutné schválení uživatele na chytrých hodinkách. Zároveň je díky tomu instalována baterie s menší kapacitou ve srovnání s prvním návrhem. Podrobněji je tento řídicí systém popsán v podkapitole 2.2.6. Kvůli tomuto opatření dochází jen k malé energetické úspoře způsobené omezením ztrát při vybíjení a nabíjení baterie. V dalším výpočtu není tato úspora uvažována. Na druhou stranu se díky využití wearables zvýší podíl energie z FV v domácím energetickém mixu.

Obdobně jako v prvním případě jsou pro vzájemnou komunikaci zařízení využity Miele Gateway XGW 3000, Foxtron KNX interface a 1Home Box. Pro pokročilé logické funkce a scény je využit logický kontrolér Wiser. Veškerá komunikace probíhá na platformě KNX. Aktuální klimatické údaje jsou pro řídicí systém získávány z meteorologické stanice a z venkovního kombinovaného meteorologického snímače.

## 4 Energetické a ekonomické srovnání návrhů

### 4.1 Snížení energetické náročnosti

#### 4.1.1 Úspory elektrické energie

Prvním krokem k energetickému porovnání obou variant je vypracování soupisu uvažovaných zařízení a jejich energetických náročností. Pro zvýšení přehlednosti bude nadále varianta bez wearables označována i jako varianta 1 a varianta s wearables označována i jako varianta 2. S ohledem na zobrazení úspor je u některých spotřebičů odlišován tzv. „stand by“ provoz od standardního provozu. Během „stand by“ režimu je zařízení zapnuté, ale jeho funkce jsou omezené na minimum. Tím se výrazně sníží jeho spotřeba. Pomocí nasimulování běžného provozu domácnosti jsou odhadnuty doby využití jednotlivých spotřebičů v roce. Je uvedena průměrná doba využití během dne. Následně je tento údaj přenásoben počtem dní v roce a výsledek je ve většině případů snížen o 8 %. Je to kvůli období, kdy je byt neobývaný a zařízení nejsou v provozu. Pro potřeby výpočtu je toto období uvažováno v délce jednoho měsíce. Snížení není uvažováno u spotřebičů, které se v té době nevypínají. V některých případech je výpočet odlišný. Je to například případ pračky, u které výrobce uvádí energetickou náročnost pro 1 prací cyklus. Ten je následně přenásoben odhadovaným počtem využití v roce a opět snížen o 8 %. U kombinované chladničky je využito přímo roční údaj o spotřebě uváděný výrobcem.

Značná část spotřeby je způsobena klimatizací Multi split. Pro potřeby výpočtu je uvažován následující provoz. Ve variantě 1 je denně klimatizace v průměru 10 hodin ve standardním režimu chlazení. Režim EKO, ve kterém je utlumený výkon a spotřeba o 30% nižší, trvá denně průměrně 9 hodin. Během noci je na 5 hodin klimatizace vypnutá. Ve variantě 2 se díky automatické regulaci sníží počet hodin ve standardním režimu na 5. Počet hodin v režimu EKO se zvýší na 14. Období, kdy se klimatizace využívá je stanoveno na 60 dní v roce. Vlivem letních prázdnin dochází kvůli nepřítomnosti uživatelů k jeho zkrácení o 25 %.

Po sestavení modelu odběrů energie jednotlivými spotřebiči je možné dopočítat roční spotřeby elektrické energie pro jednotlivé varianty. Výpočty pro variantu 1 jsou uvedeny v tabulce 3. Výpočty pro variantu 2 jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 3 – Výpočet spotřeby elektrické energie, varianta 1

Název spotřebiče	Počet	El. Příkon (kW)	El. Příkon celkem (kW)	Provoz denně (h)	Roční využití (h)	Využití v roce	Spotřeba (kWh)
LED žárovky	7	0,0030	0,0210	3,00	1 095,00	92%	21,08
Miele Gateway	1	0,0080	0,0080	24,00	8 760,00	92%	64,24
1Home	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	92%	16,06
WLAN Router	1	0,0150	0,0150	24,00	8 760,00	92%	120,45
Pračka (stand by)	1	0,0004	0,0004	23,57	8 604,44	92%	3,15
Sušička (stand by)	1	0,0002	0,0002	23,50	8 579,24	92%	1,57
TV (stand by)	3	0,0005	0,0015	21,00	7 665,00	92%	10,54
Trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	23,00	8 395,00	92%	7,70
Myčka (stand by)	1	0,0003	0,0003	22,04	8 045,21	92%	2,21
Mikrovlnná trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	24,00	8 760,00	92%	8,03
Pohybové senzory	6	0,0020	0,0120	24,00	8 760,00	92%	96,36
Ovládací tablety – velké	1	0,0070	0,0070	24,00	8 760,00	92%	56,21
Ovládací tablety – malé	2	0,0006	0,0011	24,00	8 760,00	92%	8,99
Mikrovlnná trouba	1	1,0500	1,0500	0,01	4,06	92%	3,90
Rychlovarná konvice	1	2,2000	2,2000	0,03	12,17	92%	24,54
Kávovar	1	1,1000	1,1000	0,02	6,08	92%	6,13
TV	3	0,1100	0,3300	3,00	1 095,00	92%	331,24
Myčka (1 cyklus v kWh; počet mytí v roce)	1	-	0,7300	-	182,50	92%	122,12
Pračka (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	2,1000	-	53,00	92%	102,03
Kombinovaná chladnička	1	-	-	-	-	-	273,00
Sušička (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	5,6507	-	53,00	92%	275,53
Trouba	1	1,0500	1,0500	1,00	365,00	92%	352,59
Notebook	3	0,0400	0,1200	4,00	1 460,00	92%	160,60
Logický kontrolér Wiser for KNX	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	100%	17,52
UHF RFID brána	0	0,0035	0,0000	24,00	8 760,00	100%	0,00
Ostatní zařízení připojené ke KNX sběrnici	-	-	0,0100	24,00	8 760,00	100%	87,60
Multi split – standardní režim (pro 1 místnost)	3	0,6400	1,9200	10,00	600,00	75%	864,00
Multi split – EKO režim (pro 1 místnost)	3	0,4480	1,3440	9,00	540,00	75%	544,32
Plynový kotel	1	0,1020	0,1020	4,00	1 460,00	92%	136,51
Ostatní spotřebiče							50,00
<b>Spotřeba celkem:</b>							<b>3 768,22</b>

Tabulka 4 – Výpočet spotřeby elektrické energie, varianta 2

Název spotřebiče	Počet	El. Příkon (kW)	El. Příkon celkem (kW)	Provoz denně (h)	Roční využití (h)	Využití v roce	Spotřeba (kWh)
LED žárovky	7	0,0030	0,0210	2,00	730,00	92%	14,05
Miele Gateway	1	0,0080	0,0080	16,00	5 840,00	92%	42,83
1Home	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	92%	16,06
WLAN Router	1	0,0150	0,0150	16,00	5 840,00	92%	80,30
Pračka (stand by)	1	0,0004	0,0004	15,57	5 684,44	92%	2,08
Sušička (stand by)	1	0,0002	0,0002	15,50	5 659,24	92%	1,04
TV (stand by)	3	0,0005	0,0015	13,00	4 745,00	92%	6,52
Trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	15,00	5 475,00	92%	5,02
Myčka (stand by)	1	0,0003	0,0003	14,04	5 125,21	92%	1,41
Mikrovlnná trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	16,00	5 840,00	92%	5,35
Pohybové senzory	2	0,0020	0,0040	24,00	8 760,00	92%	32,12
Ovládací tablety – velké	0	0,0070	0,0000	24,00	8 760,00	92%	0,00
Ovládací tablety – malé	0	0,0006	0,0000	24,00	8 760,00	92%	0,00
Mikrovlnná trouba	1	1,0500	1,0500	0,01	4,06	92%	3,90
Rychlovarná konvice	1	2,2000	2,2000	0,03	12,17	92%	24,54
Kávovar	1	1,1000	1,1000	0,02	6,08	92%	6,13
TV	3	0,1100	0,3300	3,00	1 095,00	92%	331,24
Myčka (1 cyklus v kWh; počet mytí v roce)	1	-	0,7300	-	182,50	92%	122,12
Pračka (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	2,1000	-	53,00	92%	102,03
Kombinovaná chladnička	1	-	-	-	-	-	273,00
Sušička (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	5,6507	-	53,00	92%	275,53
Trouba	1	1,0500	1,0500	1,00	365,00	92%	352,59
Notebook	3	0,0400	0,1200	4,00	1460,00	92%	160,60
Logický kontrolér Wiser for KNX	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	100%	17,52
UHF RFID brána	3	0,0027	0,0081	24,00	8 760,00	100%	70,96
Ostatní zařízení připojené ke KNX sběrnici	-	-	0,0100	24,00	8 760,00	100%	87,60
Multi split – standardní režim (pro 1 místnost)	3	0,6400	1,9200	5,00	300,00	75%	432,00
Multi split – EKO režim (pro 1 místnost)	3	0,4480	1,3440	14,00	840,00	75%	846,72
Plynový kotel	1	0,1020	0,1020	4,00	1 460,00	92%	136,51
Ostatní spotřebiče	-	-	-	-	-	-	50,00
<b>Spotřeba celkem:</b>							<b>3 499,77</b>

V další fázi výpočtu je zohledněn vliv fotovoltaické elektrárny. Do dříve uvedeného modelu jsou vloženy odhady využití elektrické energie z fotovoltaické elektrárny. Je vycházeno z faktu, že v místě bytového domu je ročně k dispozici v průměru 1573 hodin slunečního svitu. To odpovídá přibližně 18 % času z celého roku. V tomto zjednodušeném modelu je tedy uvažováno, že u některých spotřebičů lze z 18 % pokrýt jejich spotřebu energií z FV. U ostatních spotřebičů je procento sníženo z důvodu současnosti využití spotřebiče a standardní denní doby slunečního svitu. S ohledem na původ vstupních dat je pro zjednodušení modelu zanedbán vliv baterie. U varianty 2 se projevuje optimalizace energetického managementu. U spotřebičů, kde je možné odložit jejich činnost, je uvažováno, že díky integraci wearables bude možné provádět každou druhou činnost jen při dostatku elektrické energie z FV. Z toho důvodu dochází k navýšení využití na 50 %. U ostatních spotřebičů se ve variantě 2 uvažuje zvýšení využití FV na 25 % vlivem efektivnější regulace. Jak již bylo uvedeno, klimatizace kompenzuje hlavně tepelné zisky od slunce. Je tedy zřejmé, že FV má během jejich provozu dostatečný výkon. U klimatizace je tedy v obou variantách 90% využití.

Díky využití wearables dochází ke zvýšení využití FV a tím pádem ke snížení energie odebrané ze sítě. Vliv FV je pro variantu 1 je zobrazen v tabulce 5. Vliv FV je pro variantu 2 je zobrazen v tabulce 6.

Tabulka 5 – Výpočet vlivu FV, varianta 1

Název spotřebiče	Počet	El. Příkon (kW)	El. Příkon celkem (kW)	Provoz denně (h)	Roční využití (h)	Využití v roce	Pokrytí z FV	Spotřeba (kWh)
LED žárovky	7	0,0030	0,0210	3,00	1 095,00	92%	0%	0,00
Miele Gateway	1	0,0080	0,0080	24,00	8 760,00	92%	18%	11,56
1Home	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	92%	18%	2,89
WLAN Router	1	0,0150	0,0150	24,00	8 760,00	92%	18%	21,68
Pračka (stand by)	1	0,0004	0,0004	23,57	8 604,44	92%	18%	0,57
Sušička (stand by)	1	0,0002	0,0002	23,50	8 579,24	92%	18%	0,28
TV (stand by)	3	0,0005	0,0015	21,00	7 665,00	92%	18%	1,90
Trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	23,00	8 395,00	92%	18%	1,39
Myčka (stand by)	1	0,0003	0,0003	22,04	8 045,21	92%	18%	0,40
Mikrovlnná trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	24,00	8 760,00	92%	18%	1,45
Pohybové senzory	6	0,0020	0,0120	24,00	8 760,00	92%	18%	17,34

Ovládací tablety – velké	1	0,0070	0,0070	24,00	8 760,00	92%	18%	10,12
Ovládací tablety – malé	2	0,0006	0,0011	24,00	8 760,00	92%	18%	1,62
Mikrovlnná trouba	1	1,0500	1,0500	0,01	4,06	92%	9%	0,35
Rychlovarná konvice	1	2,2000	2,2000	0,03	12,17	92%	9%	2,21
Kávovar	1	1,1000	1,1000	0,02	6,08	92%	9%	0,55
TV	3	0,1100	0,3300	3,00	1 095,00	92%	9%	29,81
Myčka (1 cyklus v kWh; počet mytí v roce)	1	-	0,7300	-	182,50	92%	9%	10,99
Pračka (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	2,1000	-	53,00	92%	9%	9,18
Kombinovaná chladnička	1	-	-	-	-	-	18%	49,14
Sušička (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	5,6507	-	53,00	92%	9%	24,80
Trouba	1	1,0500	1,0500	1,00	365,00	92%	9%	31,73
Notebook	3	0,0400	0,1200	4,00	1 460,00	92%	9%	14,45
Logický kontrolér Wiser for KNX	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	100%	18%	3,15
UHF RFID brána	0	0,0035	0,0000	24,00	8 760,00	100%	18%	0,00
Ostatní zařízení připojené ke KNX sběrnici	-	-	0,0100	24,00	8 760,00	100%	18%	15,77
Multi split – standardní režim (pro 1 místnost)	3	0,6400	1,9200	10,00	600,00	75%	90%	777,60
Multi split – EKO režim (pro 1 místnost)	3	0,4480	1,3440	9,00	540,00	75%	90%	489,89
Plynový kotel	1	0,1020	0,1020	4,00	1 460,00	92%	9%	12,29
Ostatní spotřebiče	-	-	-	-	-	-	18%	9,00
Využití FV za rok:								1 552,11

Tabulka 6 - Výpočet vlivu FV, varianta 2

Název spotřebiče	Počet	El. Příkon (kW)	El. Příkon celkem (kW)	Provoz denně (h)	Roční využití (h)	Využití v roce	Pokrytí z FV	Spotřeba (kWh)
LED žárovky	7	0,0030	0,0210	2,00	730,00	92%	0%	0,00
Miele Gateway	1	0,0080	0,0080	16,00	5 840,00	92%	18%	7,71
1Home	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	92%	18%	2,89
WLAN Router	1	0,0150	0,0150	16,00	5 840,00	92%	18%	14,45
Pračka (stand by)	1	0,0004	0,0004	15,57	5 684,44	92%	18%	0,38



Sušička (stand by)	1	0,0002	0,0002	15,50	5 659,24	92%	18%	0,19
TV (stand by)	3	0,0005	0,0015	13,00	4 745,00	92%	18%	1,17
Trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	15,00	5 475,00	92%	18%	0,90
Myčka (stand by)	1	0,0003	0,0003	14,04	5 125,21	92%	18%	0,25
Mikrovlnná trouba (stand by)	1	0,0010	0,0010	16,00	5 840,00	92%	18%	0,96
Pohybové senzory	2	0,0020	0,0040	24,00	8 760,00	92%	18%	5,78
Ovládací tablety – velké	0	0,0070	0,0000	24,00	8 760,00	92%	18%	0,00
Ovládací tablety – malé	0	0,0006	0,0000	24,00	8 760,00	92%	18%	0,00
Mikrovlnná trouba	1	1,0500	1,0500	0,03	12,17	92%	9%	1,05
Rychlovarná konvice	1	2,2000	2,2000	0,03	12,17	92%	9%	2,21
Kávovar	1	1,1000	1,1000	0,03	12,17	92%	9%	1,10
TV	3	0,1100	0,3300	3,00	1 095,00	92%	9%	29,81
Myčka (1 cyklus v kWh; počet mytí v roce)	1	-	0,7300	-	182,50	92%	50%	61,06
Pračka (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	2,1000	-	53,00	92%	50%	51,01
Kombinovaná chladnička	1	-	-	-	-	-	18%	49,14
Sušička (1 cyklus v kWh; počet praní v roce)	1	-	5,6507	-	53,00	92%	50%	137,76
Trouba	1	1,0500	1,0500	1,00	365,00	92%	50%	176,30
Notebook	3	0,0400	0,1200	4,00	1 460,00	92%	50%	80,30
Logický kontrolér Wiser for KNX	1	0,0020	0,0020	24,00	8 760,00	100%	18%	3,15
UHF RFID brána	3	0,0027	0,0081	24,00	8 760,00	100%	18%	12,77
Ostatní zařízení připojené ke KNX sběrnici	-	-	0,0100	24,00	8 760,00	100%	18%	15,77
Multi split – standardní režim (pro 1 místnost)	3	0,6400	1,9200	5,00	300,00	75%	90%	388,80
Multi split – EKO režim (pro 1 místnost)	3	0,4480	1,3440	14,00	840,00	75%	90%	762,05
Plynový kotel	1	0,1020	0,1020	4,00	1 460,00	92%	9%	12,29
Ostatní spotřebiče	-	-	-	-	-	-	25%	12,50
Využití FV za rok:								1 831,77

#### 4.1.2 Úspory energie na vytápění

Pro zjištění této úspory je nejprve nutné spočítat tepelnou ztrátu posuzovaného objektu. Objekt není podsklepen a ani nemá půdu. Všechny obvodové konstrukce jsou tedy na hranici s exteriérem. Pro výpočet tepelné ztráty podlahou byla využita orientační hodnota činitele teplotní redukce z ČSN 73 05 40. Výpočet tepelné ztráty objektu je uveden v tabulce 7.

Tabulka 7 – Výpočet tepelné ztráty posuzovaného objektu

Označení a popis kce	Plocha stěny						Součinitel prostupu tepla kci (vč tep. Mostů)	Činitel tepl. Redukce	Součinitel tepelné ztráty prostupem	vnitřní výpočtová teplota	vnější výpočtová teplota		Návrhová tep. Ztráta prostupem tepla	Celková tep.ztráta
	dláka	šířka či výška	plocha	počet otvorů	plocha otvorů	plocha bez otvorů								
	m	m	m2	ks	m2	A (m2)								
ochlazená stěna	5,35	2,56	13,69	2	9,03	4,67	0,15	1,00	0,71	21	-15			Φ=Φ <sub>r</sub> +Φ <sub>s</sub>
ochlazená stěna	14,10	2,56	36,08	2	5,10	30,98	0,15	1,00	4,71	21	-15			
ochlazená stěna	7,33	2,56	18,74	2	11,28	7,47	0,15	1,00	1,14	21	-15			
ochlazená stěna	9,00	2,56	23,03	1	1,89	21,14	0,15	1,00	3,21	21	-15			
ochlazená stěna	1,98	2,56	5,05			5,05	0,15	1,00	0,77	21	-15			
ochlazená stěna	5,10	2,56	13,05			13,05	0,15	1,00	1,98	21	-15			
ochlazené okno	9,87	2,50	24,68			24,68	0,75	1,00	18,51	21	-15			
ochlazené okno	0,85	0,85	0,72			0,72	0,75	1,00	0,54	21	-15			
vstupní dveře	0,90	2,10	1,89			1,89	0,90	1,00	1,70	21	-15			
podlaha			93,22			93,22	0,15	1,00	13,98	21	-15			
střecha - plochá			93,22			93,22	0,15	0,66	9,23	21	-			
tepelné vazby						296,09	0,05	1,00	14,80	ti	te	Φ <sub>r</sub> =	2566	
H <sub>r</sub> =									71,29	21	-15			
výměna vzduchu ve vyt. Prostoru	V <sub>r</sub> =V <sub>m</sub> *n	=			119,27	m <sup>3</sup> /h	Účinnost rekuperace			80%				
požadovaná výměna vzduchu	n	=			0,5	1/h	Měrná tep.kap.vzduchu		C <sub>p</sub>	=	1010	Wh/kgK		
objem vzduchu objektu	V <sub>m</sub>	=			238,55	m <sup>3</sup>	Hustota vzduchu		q	=	1,2	kg/m3		
světlná výška objektu	v	=			2,56	m			H <sub>v</sub> =	V <sub>i</sub> *c <sub>p</sub> *q=	40,16	W/K		
Φ <sub>v</sub> =H <sub>v</sub> *(Φ <sub>r</sub> -Φ <sub>s</sub> )=													289	2855

Pomocí denostupňové metody je dále dopočítána potřeba tepla na vytápění za rok pro jednotlivé varianty. V případě varianty 2 je uvažováno, že se integrace wearables projeví snížením potřeby tepla na vytápění o 2 %. K tomuto zjednodušení dochází ze dvou důvodů. První z nich je, že k exaktnímu výpočtu by byl potřeba velmi podrobný hodinový krok. K tomu by byl potřeba podrobný model chování, který závisí na konkrétních uživatelích. Druhým důvodem je pak předpokládaná nízká hodnota vypočtených úspor viz podkapitola 2.2.5. Energetická úspora ve výši 2 % byla zvolena s přihlédnutím ke studii zabývající se problematikou zónového vytápění viz podkapitola 2.2.5. Pro řešený model je z tabulky 2 nejvhodnější hodnota 13,8 %. Nicméně kvůli kvalitnímu zateplení uvažované budovy a dalším odlišnostem v jednotlivých případech byla tato hodnota snížena na 2 %. Výpočet denostupňové

metody pro variantu 1 je uveden v tabulce 8. Výpočet denostupňové metody pro variantu 2 je uveden v tabulce 9. Ve výpočtu využité vzorce jsou uvedeny na obrázku 10.

$$Q_{VVT,r} = \frac{24 Q_c \varepsilon D}{t_s - t_e} \quad [\text{Wh/rok}]$$

$$D = (t_{is} - t_{es}) d \quad [\text{K den}]$$

$$\varepsilon = \frac{e_i e_t e_d}{\eta_o \eta_r} \quad [-]$$

Obrázek 10 – Převzaté rovnice pro výpočet denostupňové metody [34]

$Q_{VVT,r}$  - roční potřeba tepla [Wh/rok]

$Q_c$  - tepelná ztráta objektu dle ČSN EN 12 831 [W]

$\varepsilon$  - opravný součinitel na snížení teploty, zkrácení doby vytápění, nesoučastnost tepelné ztráty infiltrací [-]

$D$  - počet denostupňů [d.K]

$t_{is}$  - průměrná výpočtová vnitřní teplota [°C]

$t_{es}$  - průměrná venkovní teplota v otopném období [°C]

$d$  - počet dnu otopného období v roce

$t_e$  - výpočtová venkovní teplota [°C]

$e_i$  - nesoučastnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem

$e_t$  - snížení teploty v místnosti během dne, resp. noci

$e_d$  - zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu

$\eta_o$  - účinnost rozvodu

$\eta_r$  - účinnost obsluhy, resp. možnosti regulace soustavy

Tabulka 8 - Výpočet tepla potřebného na vytápění, varianta 1

$Q_c$	=	2 855	W
$d$	=	216	dny
$t_{es}$	=	4	°C
$t_{is}$	=	21	°C
$D$	=	3 672	K*den
$t_e$	=	-15	°C
$e_i$	=	0,90	
$e_t$	=	0,90	
$e_d$	=	1,00	
$\eta_o$	=	0,96	

$\eta_r$	=	0,95	
$\varepsilon$	=	0,89	
$Q_{VVT,r}$	=	6 208 214	Wh/rok
		6 208	kWh/rok

Tabulka 9 – Výpočet tepla potřebného na vytápění, varianta 2

$Q_c$	=	2 855	W
$d$	=	216	dny
$t_{es}$	=	4	°C
$t_{is}$	=	21	°C
$D$	=	3 672	K*den
$t_e$	=	21	°C
$e_i$	=	-15	°C
$e_t$	=	0,90	
$e_d$	=	0,90	
$\eta_o$	=	1,00	
$\eta_r$	=	0,96	
$\varepsilon$	=	0,95	
$Q_c$	=	0,89	
$Q_{VVT,r}$	=	6 084 050	Wh/rok
		6 084	kWh/rok

#### 4.1.3 Úspory energie na přípravě teplé vody

Nejprve je spočítáno potřebné množství teplé vody v závislosti na počtu osob ( $V_{2p}$ ). Od této hodnoty se odvíjí volba zásobníku. Je vybrán zásobník s nejbližším vyšším objemem, tedy s objemem 149 l ( $V_z$ ). Z energetického štítku zásobníku bylo zjištěno, že patří do kategorie C. Dle vyhlášky 442/2004 Sb. je tedy jeho denní měrná tepelná ztráta v rozmezí od 7 do 9 Wh/l\*den ( $Q_{24}$ ). Pro další výpočet je využita hodnota 8 Wh/(l.den).

Celková denní spotřeba tepla na přípravu teplé vody ( $Q_{2p}$ ) se vypočte podle vzorce uvedeného na obrázku 11. Původní převzatý vzorec je pro potřeby tohoto výpočtu upraven, ale princip výpočtu zůstal zachován. Ztráty systému ( $Q_{2z}$ ) se získají součtem ztrát tepla v rozvodech ( $Q_{z,r}$ ) a ztrát tepla v zásobníku ( $Q_{z,z}$ ). Ztráta tepla v rozvodech ( $Q_{z,r}$ ) je pro obě varianty stejná a je využita přírážka v orientační výši 10 %. Vliv efektivní regulace pomocí wearables se projeví ve ztrátách zásobníku. Ve variantě 1 se denní ztráta zásobníku ( $Q_{z,z}$ ) spočítá jako součin objemu zásobníku ( $V_z$ ) a denní měrné tepelné ztráty zásobníku ( $Q_{24}$ ). Ve variantě 2 k těmto ztrátám

teoreticky nedochází vlivem přehřívání pouze potřebného množství teplé vody. Nicméně díky pravděpodobným odchylkám v běžném provozu a rezervám v požadavcích uživatel je uvažováno, že se tepelná ztráta zásobníku sníží jen o 90 %. Celková denní spotřeba systému přípravy teplé vody ( $Q_{2p}$ ) je nakonec přenásobena počtem dní v roce, ve kterých dochází k přípravě teplé vody. Stejně jako při výpočtu spotřeb elektrospotřebičů je uvažováno, že dohromady 1 měsíc v roce nebude objekt obýván. Na posledním řádku je uvedena celková roční spotřeba energie na přípravu teplé vody ( $Q_{2p,a}$ ). Výpočet pro variantu 1 je uveden v tabulce 10. Výpočet pro variantu 2 je uveden v tabulce 11.

$$Q_{2p} = Q_{2t} + Q_{2z} = \frac{V_{2p} * \rho * c * (t_2 - t_1)}{3600 * 1000} + Q_{z,r} + Q_{z,z}$$

Obrázek 11 – Převzatá a upravená rovnice pro výpočet spotřeby tepla [35]

$Q_{2p}$  – teplo odebrané z ohřivače TV [kWh/den],

$Q_{2t}$  – teoretické teplo odebrané z ohřivače TV [kWh/den],

$Q_{2z}$  – teplo ztracené při ohřevu a distribuci TV [kWh/den],

$Q_{z,r}$  – teplo ztracené při distribuci TV [kWh/den],

$Q_{z,z}$  – teplo ztracené při ohřevu TV [kWh/den],

$V_{2p}$  – celková potřeba teplé vody [m<sup>3</sup>/den],

$\rho$  – hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m<sup>3</sup>],

$c$  – měrná tepelná kapacita [J/(kg.K)],

$t_1$  – teplota studené vody (uvažuje se 10 °C) [°C],

$t_2$  – teplota teplé vody (uvažuje se 55 °C) [°C].

Tabulka 10 - Výpočet tepla potřebného pro přípravu teplé vody, varianta 1

Počet osob	3	os
Spotřeba TV na osobu	0,05	m <sup>3</sup> /os*den
$V_{2p}$	0,15	m <sup>3</sup> /den
$t_1$	10	°C
$t_2$	55	°C
$\rho$	994,8	kg/m <sup>3</sup>

c	4176	J/kg.K
Q <sub>2t</sub>	7,789	kWh/den
Třída energetické účinnosti zásobníku	C	-
Q <sub>24</sub>	8	Wh/(l.den)
V <sub>z</sub>	149	l
Q <sub>z,z</sub>	1,192	kWh/den
Q <sub>z,r</sub>	0,779	kWh/den
Q <sub>2p</sub>	9,760	kWh/den
Objekt obýván	11	měsíců/rok
Q <sub>2p,a</sub>	3 265,604	kWh/rok

Tabulka 11 - Výpočet tepla potřebného pro přípravu teplé vody, varianta 2

Počet osob	3	os
Spotřeba TV na osobu	0,05	m <sup>3</sup> /os*den
V <sub>2p</sub>	0,15	m <sup>3</sup> /den
t <sub>1</sub>	10	°C
t <sub>2</sub>	55	°C
ρ	994,8	kg/m <sup>3</sup>
c	4 176	J/kg.K
Q <sub>2t</sub>	7,789	kWh/den
Třída energetické účinnosti zásobníku	C	-
Q <sub>24</sub>	8	Wh/(l.den)
V <sub>z</sub>	149	l
Q <sub>z,z</sub>	90	%
Q <sub>z,r</sub>	0,119	kWh/den
Q <sub>2p</sub>	0,779	kWh/den
Objekt obýván	8,687	kWh/den
Q <sub>2p,a</sub>	11	měsíců/rok
	2 906,663	kWh/rok

#### 4.1.4 Snížení energetické náročnosti – vyhodnocení

V podkapitole 3.2 byly odhadovány energetické úspory uvedené v tabulce 12. Dle výpočtů provedených v podkapitolách 4.1.1, 4.1.2 a 4.1.3 je zřejmé, že odhady byly mírnější, než jaké jsou výsledky pro simulovaný model viz tabulka 13. Jsou zde uvedeny energetické úspory vyjádřené v procentech pro jednotlivé systémy a celková

energetická úspora vypočítaná z rozdílu energetických náročností obou variant. Do úspor elektrické energie je v obou případech započítán vliv FV, tudíž se porovnává jen množství energie odebrané z přenosové sítě.

Je nutné zdůraznit, že šlo pouze o simulované prostředí a výsledky, které by vycházely z reálných měření, by se mohly lišit. Na druhou stranu přesné měření je jen těžce proveditelné. Bylo by potřeba sledovat dva sousedící objekty, kde by se dvě velmi podobné skupiny obyvatel musely po celý rok chovat podle stejných návyků s jediným rozdílem v podobě využívání wearables. Nicméně i z uvažovaného modelu je zřejmé, že díky integraci wearables do řídicích systémů inteligentních budov skutečně může dojít k významným energetickým úsporám na provozu objektu.

*Tabulka 12 – Přehled odhadovaných energetických úspor*

Zefektivnění manuální regulace TZB systémů	5%
Zefektivnění automatické regulace TZB systémů	5%
Zefektivnění regulace TZB systémů na základě údajů o spánku uživatele	5%

*Tabulka 13 – Přehled vypočítaných energetických úspor*

Úspora elektrické energie ze sítě vlivem wearables (včetně klimatizace):	25%
Úspora energie na vytápění vlivem wearables:	2%
Úspora energie na přípravu teplé vody vlivem wearables:	11%
Celkem uspořené energie vlivem wearables	23%

## 4.2 Výpočet finančních úspor

V podkapitole 4.1 byly spočítány úspory energií, ke kterým dojde při využití wearables. Nyní budou obě varianty vyhodnoceny po finanční stránce. Nejprve je stanovena výše investice do řídicího systému jednotlivých variant. Následně dochází k převedení energetických úspor na finanční úspory, a nakonec jsou obě varianty porovnány pomocí následujících nástrojů pro hodnocení investic:

- I. Čistá současná hodnota
- II. Vnitřní výnosové procento
- III. Diskontovaná doba návratnosti

IV. Citlivostní analýza závislosti výše počáteční investice, čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta

#### 4.2.1 Investice

V tabulce 14 je zachycen přehled investic pro variantu 1. V tabulce 15 je zachycen přehled investic pro variantu 2. Jednotlivé varianty se liší v počtu použitých senzorů a dalších zařízení využitých k centrálnímu ovládní. Do výpočtu jsou zahrnuty i některé spotřebiče, protože jejich vyšší cena je způsobena podporou komunikace s KNX zařízeními. Tím pádem je lze začlenit do centrálního řídicího systému. Pro jednotlivé uvedené typy zařízení jsou vybrány konkrétní produkty a jejich aktuální cena v době provádění průzkumu trhu je využita pro ohodnocení daného typu zařízení.

Tabulka 14 - Přehled investic, varianta 1

Kategorie	Typ	Počet	Cena	Celkem
Pohybové čidla	Klasické (180)	5	4 470,00 Kč	22 350,00 Kč
	Více směrné (360)	1	5 463,00 Kč	5 463,00 Kč
Manuální vypínače	Osvětlení + stínící technika (dvojitý)	7	2 701,00 Kč	18 907,00 Kč
	Termostat	5	3 455,00 Kč	17 275,00 Kč
	Osvětlení (jednoduchý)	9	2 147,00 Kč	19 323,00 Kč
Ostatní čidla	CO2	3	10 503,00 Kč	31 509,00 Kč
	Meteorologický snímač	1	28 614,00 Kč	28 614,00 Kč
	Meteorologická stanice	1	22 710,00 Kč	22 710,00 Kč
Spotřebiče	Pračka	1	29 990,00 Kč	29 990,00 Kč
	Sušička	1	39 990,00 Kč	39 990,00 Kč
	Myčka	1	42 990,00 Kč	42 990,00 Kč
	Trouba	1	42 990,00 Kč	42 990,00 Kč
Gateway KNX	Pro spotřebiče	1	12 990,00 Kč	12 990,00 Kč
	Pro klimatizace	1	4 114,00 Kč	4 114,00 Kč
	Pro další ovládací zařízení	1	13 514,00 Kč	13 514,00 Kč
Logické kontroléry	Wiser for KNX	1	38 960,00 Kč	38 960,00 Kč
Akční členy	Stínící technika	1	16 160,00 Kč	16 160,00 Kč
	Osvětlení	5	9 938,00 Kč	49 690,00 Kč
	Větrání	1	10 503,00 Kč	10 503,00 Kč
	Vytápění	1	10 079,00 Kč	10 079,00 Kč
	Zásuvky	1	10 503,00 Kč	10 503,00 Kč
Ovládací panely	Velký	1	35 973,00 Kč	35 973,00 Kč
	Malý	2	10 855,00 Kč	21 710,00 Kč



UHF RFID brány	-			
	-			
	-			
Další ovládací prvky	Hlasový asistent	3	8 190,00 Kč	24 570,00 Kč
	-			
Celkem:	Celkem:			570 877,00 Kč

Tabulka 15 - Přehled investic, varianta 2

Kategorie	Typ	Počet	Cena	Celkem
Pohybové čidla	Klasické (180)	2	4 470,00 Kč	8 940,00 Kč
	-			
Manuální vypínače	Osvětlení a stínící technika (dvojitý)	6	2 701,00 Kč	16 206,00 Kč
	Termostat	5	3 455,00 Kč	17 275,00 Kč
	Osvětlení (jednoduchý)	5	2 147,00 Kč	10 735,00 Kč
Ostatní čidla	CO <sub>2</sub>	3	10 503,00 Kč	31 509,00 Kč
	Meteorologický snímač	1	28 614,00 Kč	28 614,00 Kč
	Meteorologická stanice	1	22 710,00 Kč	22 710,00 Kč
Spotřebiče	Pračka	1	29 990,00 Kč	29 990,00 Kč
	Sušička	1	39 990,00 Kč	39 990,00 Kč
	Myčka	1	42 990,00 Kč	42 990,00 Kč
	Trouba	1	42 990,00 Kč	42 990,00 Kč
Gateway KNX	Pro spotřebiče	1	12 990,00 Kč	12 990,00 Kč
	Pro klimatizace	1	4 114,00 Kč	4 114,00 Kč
	Pro další ovládací zařízení	1	13 514,00 Kč	13 514,00 Kč
Logické kontroléry	Wiser for KNX	1	38 960,00 Kč	38 960,00 Kč
Akční členy	Stínící technika	1	16 160,00 Kč	16 160,00 Kč
	Osvětlení	5	9 938,00 Kč	49 690,00 Kč
	Větrání	1	10 503,00 Kč	10 503,00 Kč
	Vytápění	1	10 079,00 Kč	10 079,00 Kč
	Zásuvky	1	10 503,00 Kč	10 503,00 Kč
Ovládací panely	-			
	-			
UHF RFID brány	Brána	4	5 121,00 Kč	20 484,00 Kč
	Lokální řídicí jednotka	4	678,00 Kč	2 712,00 Kč
	Komunikace ŘJ/KNX	4	1 500,00 Kč	6 000,00 Kč
Další ovládací prvky	-			
	Chytré hodinky	3	5 743,00 Kč	17 229,00 Kč
Celkem:				504 887,00 Kč

#### 4.2.2 Finanční úspora na elektrické energii

Pro vyjádření finanční úspory jsou využity údaje z podkapitoly 4.1.1 a ocenění jednotlivých fixních a variabilních složek ceny elektrické energie z ceníku dodavatele. Díky vyšší vypočítané ceně za 1 kWh v případě varianty 2 by se mohlo zdát, že by varianta 1 měla být úspornější. Nicméně tento údaj je zavádějící, protože je zkreslen fixními složkami ceny. Vhodným rozhodujícím kritériem je celková zaplacená částka za posuzované období. Výpočet nákladů na elektrickou energii pro variantu 1 je uveden v tabulce 16. Výpočet nákladů na elektrickou energii pro variantu 2 je uveden v tabulce 17.

Tabulka 16 - Finanční úspora na elektrické energii varianta 1

Druh		Včetně fixních nákladů		Bez fixních nákladů	
Obchodní část ceny	cena za dodávku elektřiny	4 424,47	Kč	4 424,47	Kč
	stálá platba	1 016,40	Kč	0,00	Kč
Distribuční část ceny	cena za distribuci elektřiny	4 360,11	Kč	4 360,11	Kč
	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe (3x10A)	595,32	Kč	0,00	Kč
Ostatní poplatky	daň z elektřiny	75,88	Kč	75,88	Kč
	systémové služby	206,81	Kč	206,81	Kč
	platba OTE	73,80	Kč	0,00	Kč
	podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) - podle jističe	481,80	Kč	0,00	Kč
	podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) - podle spotřeby	1 327,34	Kč	1 327,34	Kč
Σ	Celkem	12 561,93	Kč	10 394,61	Kč
	Celkem spotřeba	2 216,11	kWh	2 216,11	kWh
	Cena za kWh	5,67	Kč	4,69	Kč

Tabulka 17 – Finanční úspora na elektrické energii varianta 2

Druh		Včetně fixních nákladů		Bez fixních nákladů	
Obchodní část ceny	cena za dodávku elektřiny	3 330,16	Kč	3 330,16	Kč
	stálá platba	1 016,40	Kč	0,00	Kč
Distribuční část ceny	cena za distribuci elektřiny	3 281,72	Kč	3 281,72	Kč
	stálá platba za rezervovaný příkon podle jističe (3x10A)	595,32	Kč	0,00	Kč
Ostatní poplatky	daň z elektřiny	57,11	Kč	57,11	Kč
	systémové služby	155,66	Kč	155,66	Kč
	platba OTE	73,80	Kč	0,00	Kč
	podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) - podle jističe	481,80	Kč	0,00	Kč
	podpora výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů (POZE) - podle spotřeby	999,05	Kč	999,05	Kč
Σ	Celkem	9 991,02	Kč	7 823,70	Kč
	Celkem spotřeba	1 668,00	kWh	1 668,00	kWh
	Cena za kWh	5,99	Kč	4,69	Kč

#### 4.2.3 Finanční úspora na energii pro vytápění a přípravu teplé vody

Pro kvantifikaci této úspory jsou využity údaje z podkapitol 4.1.2 a 4.1.3. Modelové spotřeby jsou přenásobeny aktuálními cenami z ceníku lokálního dodavatele plynu. Ceny jsou přepočteny pomocí výhřevnosti plynu na údaj v MWh. Do celkových nákladů pro jednotlivé varianty jsou započteny fixní měsíční náklady, variabilní náklady na vytápění a variabilní náklady na přípravu teplé vody. Rozpad ceny plynu je uveden v tabulce 18. Výpočet nákladů na plyn pro variantu 1 je uveden v tabulce 19. Výpočet nákladů na plyn pro variantu 2 je uveden v tabulce 20.

Tabulka 18 – Rozpad ceny plynu

Fixní náklady	182,56	Kč/měsíc
Variabilní náklady	1 424,69	Kč/MWh

Tabulka 19 – Náklady na vytápění a přípravu TV, varianta 1

Odebrané množství – vytápění	6 208,214	kWh/rok
Náklady – vytápění	8 844,78	Kč/rok
Odebrané množství – TV	3 265,604	kWh/rok
Náklady – TV	4 652,47	Kč/rok
Náklady celkem	15 687,97	Kč/rok

Tabulka 20 - Náklady na vytápění a přípravu TV, varianta 2

Odebrané množství – vytápění	6 084,050	kWh/rok
Náklady – vytápění	8 667,88	Kč/rok
Odebrané množství – TV	2 906,663	kWh/rok
Náklady – TV	4 141,09	Kč/rok
Náklady celkem	14 999,70	Kč/rok

### 4.3 Porovnání variant pomocí nástrojů pro hodnocení investic

Pro účely srovnání je varianta 1 (bez wearables) uvažována jako základní a varianta 2 (s wearables) je chápána jako možnost investice. Cílem tohoto srovnání je zjistit, zda se vyplatí investice do varianty 2 (s wearables) v horizontu 10 let. Rozdíl nákladů na jednotlivé varianty z podkapitoly 4.2.1 je brán jako počáteční investice. Pro elektrickou energii, pro energii na vytápění a pro energii na přípravu teplé vody jsou vypočítány rozdíly úspor jednotlivých variant. Součet těchto rozdílů je pak při hodnocení investice uveden jako roční úspora při volbě varianty 2. Zmíněné výpočty jsou provedeny níže.

$$N_2 - N_1 = PI$$

$$504\,887,00 - 570\,877,00 = -65\,990,00$$

*PI – počáteční investice v Kč*

*N<sub>x</sub> – investiční náklady na příslušnou variantu v Kč*

$$N_{e,1} - N_{e,2} = U_e$$

$$12\,561,93 - 9\,991,02 = 2\,570,91$$

*U<sub>e</sub> – roční finanční úspora na elektrické energii v Kč při zvolení varianty 2*

*N<sub>e,x</sub> – náklady na elektrickou energii za rok a pro příslušnou variantu v Kč*

$$N_{v,1} - N_{v,2} = U_v$$

$$8\,844,78 - 8\,667,88 = 176,90$$

*U<sub>v</sub> – roční finanční úspora na energii na vytápění v Kč při zvolení varianty 2*

*N<sub>v, x</sub> – náklady na vytápění za rok a pro příslušnou variantu v Kč*

$$N_{tv,1} - N_{tv,2} = U_{tv}$$

$$4\,652,47 - 4\,141,09 = 511,38$$

*U<sub>tv</sub> – roční finanční úspora na energii na přípravu TV v Kč při zvolení varianty 2*

*N<sub>tv, x</sub> – náklady na přípravu TV za rok a pro příslušnou variantu v Kč*

$$U_e + U_v + U_{tv} = U$$

$$2\,570,91 + 176,90 + 511,38 = 3\,259,19$$

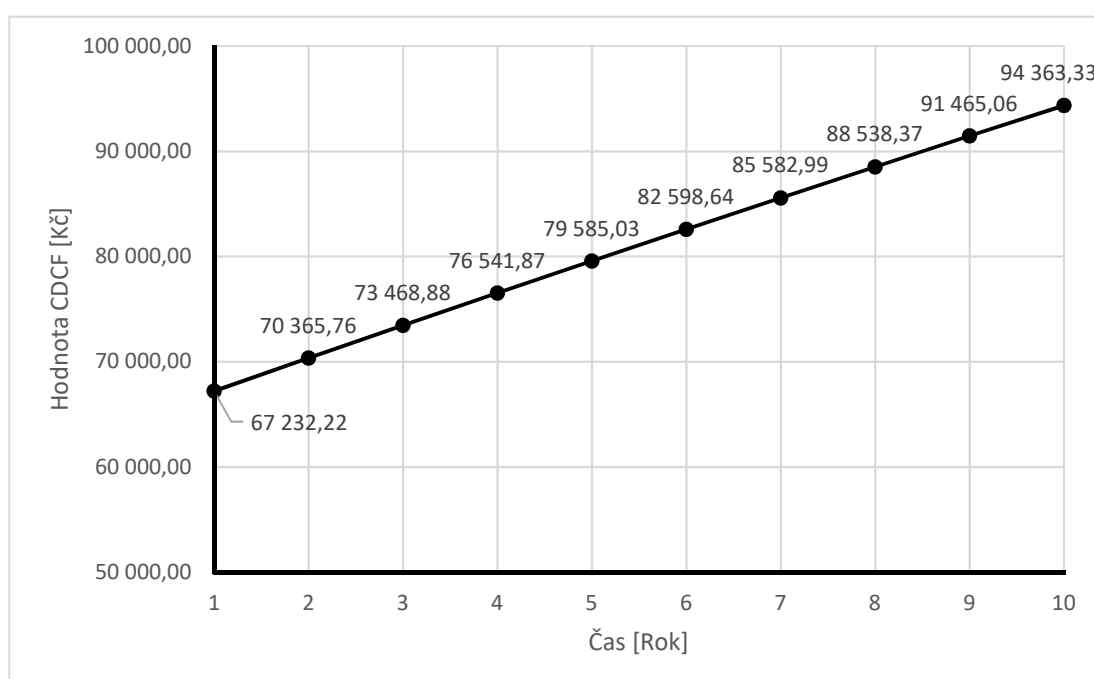
*U – celková roční finanční úspora na energiích v Kč při zvolení varianty 2*

Dále je ve výpočtu zohledněn předpokládaný meziroční nárůst cen elektrické energie a plynu ve výši 2 %. Diskontní sazba pro výpočet čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta je zvolena ve výši 3 %, a to s ohledem na ušlé příležitosti. Pro lepší zobrazení vývoje investice v čase jsou v tabulce 21 zachyceny pomocné ukazatele cash flow, odúročitel, diskontované cash flow, kumulované diskontované cash flow a kumulované cash flow. Na obrázku 12 je zobrazen vývoj kumulovaného diskontovaného cash flow během 10 let. Ze zobrazení je zřejmé, že je vývoj investice konstantní.

Pomocí tabulkového procesoru a jeho funkce „ČISTÁ.SOUČHODNOTA“ je v tabulce 21 spočítáno NPV posuzované investice. Kvůli krátké době realizace řešeného řídicího systému je uvažováno, že úspory se v plné výši projeví již v prvním roce. IRR při těchto okolnostech vypočítat nelze, protože NPV této investice nebude nikdy rovno 0. Diskontovaná doba návratnosti je v tomto případě irelevantní ukazatel, protože jak při počáteční nákupu zařízení, tak během každého posuzovaného roku dojde k úspoře finančních prostředků.

Tabulka 21 – Nástroje pro hodnocení investic

Rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pořízení zařízení	-65990,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Roční úspora	3259,19	3324,37	3390,86	3458,68	3527,85	3598,41	3670,38	3743,78	3818,66	3895,03
CF	69249,19	3324,37	3390,86	3458,68	3527,85	3598,41	3670,38	3743,78	3818,66	3895,03
Diskontní sazba	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%
Odúročitel	0,971	0,943	0,915	0,888	0,863	0,837	0,813	0,789	0,766	0,744
DCF	67232,22	3133,54	3103,12	3072,99	3043,16	3013,61	2984,35	2955,38	2926,69	2898,27
CDCF	67232,22	70365,76	73468,88	76541,87	79585,03	82598,64	85582,99	88538,37	91465,06	94363,33
CCF	69249,19	138498,38	141822,75	145213,62	148672,29	152200,15	155798,55	159468,93	163212,72	167031,38
NPV	94363,33									
IRR	-									

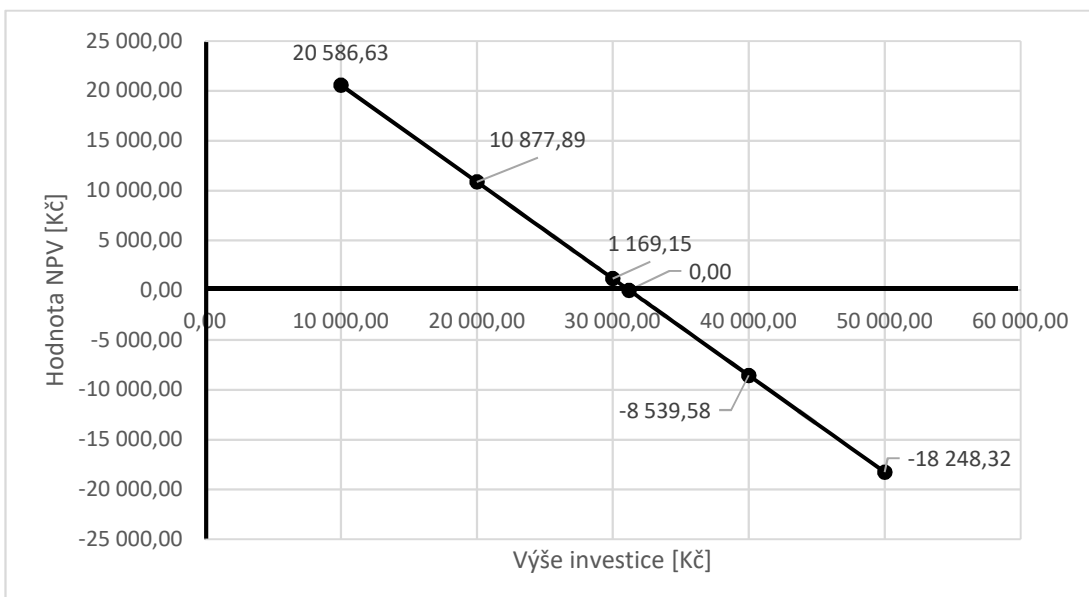


Obrázek 12 - Kumulované diskontované cash flow

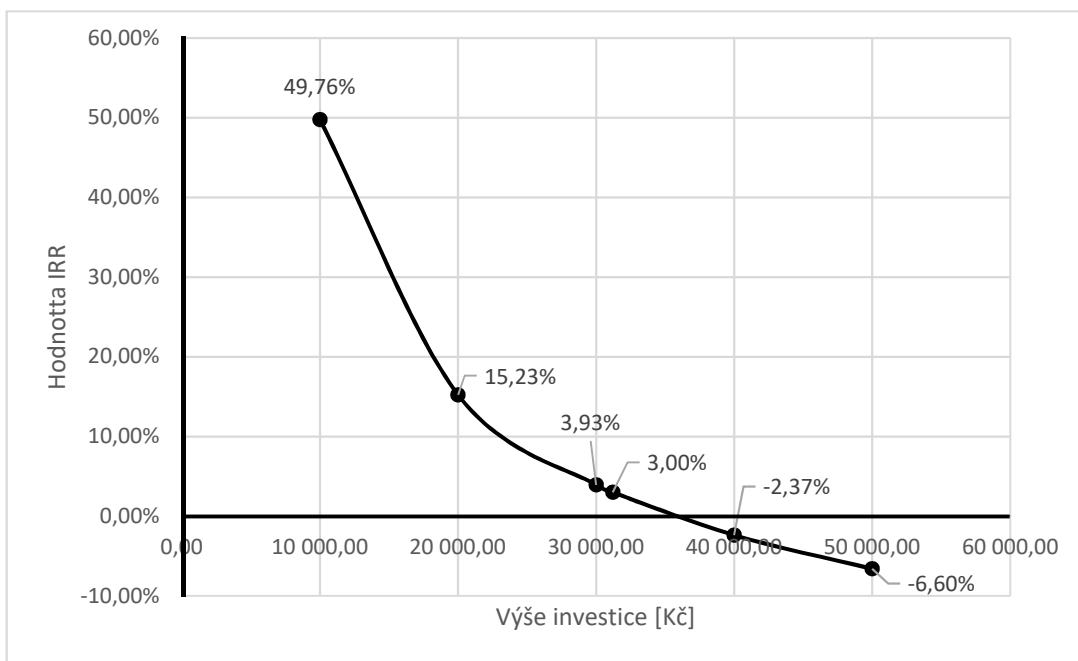
Efekt záporné hodnoty počáteční investice je v citlivostní analýze potlačen, aby bylo možné vypočítat IRR. Analýza je prováděna po kroku 10 000 Kč v intervalu od 10 000 Kč do 50 000 Kč. Následně je pro zjištění přesné částky, pro kterou bude NPV rovno 0, využita funkce Řešitel. Pro výpočty NPV a IRR jsou v jednotlivých krocích využity funkce použitého tabulkového procesoru „ČISTÁ.SOUČHODNOTA“ a „MÍRA.VÝNOSNOSTI“. Přehled jednotlivých výsledků je uveden v tabulce 22, na obrázku 13 a na obrázku 14.

Tabulka 22 - Citlivostní analýza

Investice	NPV	IRR
10 000,00 Kč	20 586,63 Kč	49,76 %
20 000,00 Kč	10 877,89 Kč	15,23 %
30 000,00 Kč	1 169,15 Kč	3,93 %
31 204,23 Kč	0,00 Kč	3,00 %
40 000,00 Kč	-8 539,58 Kč	-2,37 %
50 000,00 Kč	-18 248,32 Kč	-6,60 %



Obrázek 13 - Závislost NPV na výši investice



Obrázek 14 - Závislost IRR na výši investice

## ZÁVĚR

Během jednotlivých návrhů funkcí, které jsou umožněné integrací wearables do inteligentních řídicích systémů, byl odhalen potenciál těchto zařízení. S jejich využitím dochází k energetickým i ekonomickým úsporám. Vlivem snížení spotřeby energií dochází i ke snížení produkce škodlivin, například CO<sub>2</sub>. V obytných budovách může vést využití wearables i ke zvýšení kvality vnitřního prostředí. Obdobná situace je i u budov administrativních. V budovách zajišťujících sociální a zdravotní služby je jejich potenciální přínos ještě významnější, jelikož mohou snížit riziko zdravotních komplikací a ulehčit práci přetěžovanému personálu. Konkrétní velikost úspor samozřejmě závisí na chování uživatele. Nicméně využití wearables uživateli přináší nové možnosti realizace úspor.

Energetický a ekonomický propoččet modelové situace potvrdil, že wearables skutečně mohou přinést výrazné energetické a ekonomické úspory. Přehled energetických, emisních a ekonomických úspor pro modelovou situaci je uveden v tabulce 23.

Tabulka 23 - Přehled úspor s wearables

Elektrická energie						
Druh úspory	Spotřeba varianta 1		Spotřeba varianta 2		Úspora	
Roční úspora energie s wearables	2 216,11	-	1 668,00	=	<b>548,115 kWh</b>	<b>25 %</b>
Roční úspora CO <sub>2</sub> s wearables (1 MWh=0,747 t) [41]	1,66	-	1,246		<b>0,409 t</b>	<b>25 %</b>
Roční úspora financí s wearables	12 561,93	-	9 991,02	=	<b>2 570,91 Kč</b>	<b>20 %</b>
Teplo (získané spalováním plynu)						
Druh úspory	Spotřeba varianta 1		Spotřeba varianta 2		Úspora	
Roční úspora energie s wearables	9 473,82	-	8 990,71	=	<b>483,105 kWh</b>	<b>5 %</b>
Roční úspora CO <sub>2</sub> (1MWh=0,202 t) [42]	1,91	-	1,816		<b>0,098 t</b>	<b>5 %</b>
Roční úspora financí s wearables	15 687,97	-	14 999,70	=	<b>688,28 Kč</b>	<b>4 %</b>

V modelovém případě bylo zjištěno, že čistá současná hodnota realizace varianty s wearables namísto standardního řídicího systému bytu je 94 363,33 Kč. Údaj odpovídá diskontní sazbě 3 % a horizontu 10 let. Oproti předpokladům bylo zjištěno, že úspora přichází již při realizaci, a to díky nižším investičním nákladům



při zvolení varianty s wearables. Dokonce je z uvedených výsledků zřejmé, že investiční úspora je mnohem významnější než úspora provozní. Je to způsobeno dvěma faktory.

Prvním z nich je cena komponentů, které podporují platformu KNX. Díky této podpoře je cena u KNX pohybového senzoru několikanásobně vyšší než u obdobného senzoru, který KNX nepodporuje. Wearables dokáží nahradit část těchto zařízení, a proto dochází k úspoře již při realizaci řídicího systému. Instalace by bylo možné realizovat s využitím nízkonákladových systémů, ale výrazně by tím klesla spolehlivost.

Druhým faktorem je kvalita obvodových konstrukcí a využití spotřebičů s nízkou energetickou náročností. Díky tomu klesají jak provozní náklady, tak i provozní úspory způsobené efektivnější regulací. Na druhou stranu uvedené funkce by mohly být integrovány i do objektů s vyšší provozní energetickou náročností a v tom případě by došlo k významnějším úsporám.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

- DRG - Disc Resonator Gyroscope, gyroskop s rezonančními disky  
EKG – Elektrokardiografie  
ERÚ – Energetický regulační úřad  
FCC – Federal Communications Commission, Federální komunikační komise  
FDA – Food and Drug Administration, Úřad pro kontrolu potravin a léčiv  
FV – Fotovoltaika  
HWAT – Hot Water At Tap, *nepřekládá se*  
IB – Inteligentní budova  
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers, Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství  
IRR – Internal rate of return, vnitřní výnosové procento  
kB – Kilobyte  
LED – Light-Emitting Diode, elektroluminiscenční dioda  
LTE - Long term evolution, *nepřekládá se*  
MEMS - Micro Electro Mechanical Systems, mikro elektromechanické systémy  
NFC – Near field communication, komunikace na krátkou vzdálenost  
NPV – Net present value, čistá současná hodnota  
PIN – Personal identification number, osobní identifikační číslo  
RFID – Radio Frequency Identification, radiofrekvenční identifikace  
ROM – Read-Only Memory, *nepřekládá se*  
TZB – Technická zařízení budov  
UCL – University College London  
VaV – Variable air volume, proměnný objem vzduchu  
WLAN – Wireless local area network, bezdrátová lokální síť  
WSN – Wireless sensor network, bezdrátová senzorová síť

## **SEZNAM PŘÍLOH**

1. Výkres Instalace bez využití wearables – půdorys
2. Výkres Instalace s využitím wearables – půdorys
3. Výkres Instalace bez využití wearables – přehledové schéma
4. Výkres Instalace s využitím wearables – přehledové schéma

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Ukázkové schéma fungování akcelerometru [5] .....	15
Obrázek 2 - MEMS gyroskop [7].....	16
Obrázek 3 - Prototypy interaktivního tetování DuoSkin, a) První typ, b) Druhý typ, c) Třetí typ .....	23
Obrázek 4 - Vhodný princip přijímače pro radiofrekvenční nabíjení, přeloženo [26] .....	29
Obrázek 5 - Model inteligentního řídicího systému s využitím KNX .....	33
Obrázek 6 - Schéma manuální regulace TZB systémů.....	51
Obrázek 7 - Schéma automatické regulace TZB systémů .....	52
Obrázek 8 - Schéma spánkové funkce.....	53
Obrázek 9 - Schéma efektivního využití FV .....	54
Obrázek 10 - Převzaté rovnice pro výpočet denostupňové metody [34] .....	67
Obrázek 11 - Převzatá a upravená rovnice pro výpočet spotřeby tepla [35] .....	69
Obrázek 12 - Kumulované diskontované cash flow .....	78
Obrázek 13 - Závislost NPV na výši investice .....	79
Obrázek 14 - Závislost IRR na výši investice .....	79

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Přehled RFID technologií .....	19
Tabulka 2 - Výsledky studie zabývající se úsporou při zónovém vytápění [33] .....	43
Tabulka 3 – Výpočet spotřeby elektrické energie, varianta 1.....	61
Tabulka 4 – Výpočet spotřeby elektrické energie, varianta 2.....	62
Tabulka 5 – Výpočet vlivu FV, varianta 1.....	63
Tabulka 6 - Výpočet vlivu FV, varianta 2 .....	64
Tabulka 7 – Výpočet tepelné ztráty posuzovaného objektu.....	66
Tabulka 8 - Výpočet tepla potřebného na vytápění, varianta 1.....	67
Tabulka 9 – Výpočet tepla potřebného na vytápění, varianta 2.....	68
Tabulka 10 - Výpočet tepla potřebného pro přípravu teplé vody, varianta 169	
Tabulka 11 - Výpočet tepla potřebného pro přípravu teplé vody, varianta 270	
Tabulka 12 – Přehled odhadovaných energetických úspor .....	71
Tabulka 13 – Přehled vypočítaných energetických úspor.....	71
Tabulka 14 - Přehled investic, varianta 1 .....	72
Tabulka 15 - Přehled investic, varianta 2 .....	73
Tabulka 16 - Finanční úspora na elektrické energii varianta 1.....	74
Tabulka 17 – Finanční úspora na elektrické energii varianta 2.....	75
Tabulka 18 – Rozpad ceny plynu .....	75
Tabulka 19 – Náklady na vytápění a přípravu TV, varianta 1.....	76
Tabulka 20 - Náklady na vytápění a přípravu TV, varianta 2.....	76
Tabulka 21 – Nástroje pro hodnocení investic.....	78
Tabulka 22 - Citlivostní analýza .....	79
Tabulka 23 - Přehled úspor s wearables .....	80

## POUŽITÁ LITERATURA

1. *Informační bulletin pro uživatele systémů firmy Teco a.s.: Foxtrot 2 přichází* [online]. 2019, **2019**(40) [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/uploads/files/DOCS/cze/PRINTS/teco-tecoinfo-2019-40.pdf>
2. MARVAN, Filip. *Jak funguje měření tepu? Poradíme s výběrem správného způsobu* [online]. 24.10.2017 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [https://rungo.idnes.cz/sporttestery-mereni-tepu-opticky-hrudni-pas-jak-funguje-pes-/runtech.aspx?c=A171013\\_083425\\_runtech\\_Pil](https://rungo.idnes.cz/sporttestery-mereni-tepu-opticky-hrudni-pas-jak-funguje-pes-/runtech.aspx?c=A171013_083425_runtech_Pil)
3. FILIP, Jiří. *Apple Watch dokáže rozpoznat abnormální srdeční rytmus s téměř 100% přesností* [online]. 21.3.2018 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.letemsvetemapple.com/2018/03/21/apple-watch-dokazi-rozpoznat-abnormalni-srdecni-rytmus-s-temer-100-presnosti/>
4. CHROUST, Martin a Filip KŮŽEL. *Smartphony mají 19 smyslů. Znáte je všechny?* *Www.mobilmania.cz* [online]. 26.2.2015 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.mobilmania.cz/clanky/smartphony-maji-19-smyslu-znate-je-vsechny/sc-3-a-1329584/default.aspx>
5. WOODFORD, Chris. *Accelerometers*. *Www.explainthatstuff.com* [online]. 28.6.2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.explainthatstuff.com/accelerometers.html>
6. *Pojďme programovat elektroniku: Jak vlastně funguje akcelerometr a gyroskop nejen ve vašem telefonu: Jak funguje gyroskop?*. *Živě.cz* [online]. 2.9.2018 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/pojdme-programovat-elektroniku-jak-vlastne-funguje-akcelerometr-a-gyroskop-nejen-ve-vasem-telefonu/jak-funguje-gyroskop/sc-3-a-194858-ch-114926/default.aspx>
7. LI, M. *Disk Resonator Gyroscope (DRG)* [online]. In: . 03-2016 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Disk-Resonator-Gyroscope-DRG-a-SEM-of-DRG-and-drawing-showing-DRG-shape-with-inset\\_fig3\\_273121555](https://www.researchgate.net/figure/Disk-Resonator-Gyroscope-DRG-a-SEM-of-DRG-and-drawing-showing-DRG-shape-with-inset_fig3_273121555)
8. EARGLE, John. *The microphone book*. Boston: Focal Press, 2001. ISBN 02-408-0445-7.
9. CARRASQUEIRA, João. *[MWC 2019] The Voixatch is an idea with potential, but it's lacking direction* [online]. 28.2.2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.neowin.net/news/mwc-2019-the-voixatch-is-an-idea-with-potential-but-its-lacking-direction>
10. *Ambient Light* [online]. [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.mediacollege.com/lighting/ambient/>
11. *Co je ambientní osvětlení?* [online]. 27.2.2019 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <https://www.svet-svitidel.cz/clanky-co-je-ambientni-osvetleni/>
12. MASTORAKIS, George, Constandinos X. MAVROMOUSTAKIS a Evangelos PALLIS. *Resource management of mobile cloud computing networks and environments*. Hershey, PA: Information Science Reference, [2015]. ISBN 978-146-6682-269.
13. *CO JE NFC?* [online]. [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: <http://www.nfctech.cz/co-je-nfc/>

14. What is ANT+?. *RF and Wireless World: Home of RF and Wireless Vendors and Resources* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Terminology/ANT-basics.html>
15. Bluetooth Tutorial. *RF Wireless World: Home of RF and Wireless Vendors and Resources* [online]. [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: [http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Bluetooth\\_tutorial.html](http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/Bluetooth_tutorial.html)
16. Wireless LAN Tutorial. *RF Wireless World: Home of RF and Wireless Vendors and Resources* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/wireless-LAN-tutorial.html>
17. *Co je to „WiFi“?* [online]. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [www.vhvspeed.cz/co-je-to-wifi](http://www.vhvspeed.cz/co-je-to-wifi)
18. PEŠKA, Robert. Long Term Evolution – LTE v číslech. *Hw.cz* [online]. 17.12.2018 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/long-term-evolution-lte-v-cislech.html>
19. LOPES, Pedro, Patrik JONELL a Patrick BAUDISCH. Affordance++: Allowing Objects to Communicate Dynamic Use. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '15*. New York, New York, USA: ACM Press, 2015, 2015, s. 2515-2524. DOI: 10.1145/2702123.2702128. ISBN 9781450331456. Dostupné také z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2702123.2702128>
20. KAO, Hsin-Liu (Cindy), Christian HOLZ, Asta ROSEWAY, Andres CALVO a Chris SCHMANDT. DuoSkin: Rapidly Prototyping On-skin User Interfaces Using Skin-Friendly Materials. In: *Proceedings of the 2016 ACM International Symposium on Wearable Computers - ISWC '16*. New York, New York, USA: ACM Press, 2016, 2016, s. 16-23. DOI: 10.1145/2971763.2971777. ISBN 9781450344609. Dostupné také z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2971763.2971777>
21. AMESAKA, Takashi, Hiroki WATANABE a Masanori SUGIMOTO. Facial expression recognition using ear canal transfer function. In: *Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers - ISWC '19*. New York, New York, USA: ACM Press, 2019, 2019, s. 1-9. DOI: 10.1145/3341163.3347747. ISBN 9781450368704. Dostupné také z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3341163.3347747>
22. BECKER, Vincent, Linus FESSLER a Gábor SÖRÖS. GestEar: combining audio and motion sensing for gesture recognition on smartwatches. In: *Proceedings of the 23rd International Symposium on Wearable Computers - ISWC '19*. New York, New York, USA: ACM Press, 2019, 2019, s. 10-19. DOI: 10.1145/3341163.3347735. ISBN 9781450368704. Dostupné také z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3341163.3347735>
23. LI, Zhuangnan, Srinivas GADIPELLI, Hucheng LI, et al. Tuning the interlayer spacing of graphene laminate films for efficient pore utilization towards compact capacitive energy storage. In: *Nature Energy* [online]. 2020, 5(2), s. 160-168 [cit. 2020-03-18]. DOI: 10.1038/s41560-020-0560-6. ISSN 2058-7546. Dostupné z: <http://www.nature.com/articles/s41560-020-0560-6>
24. MCCANN, J. a D. BRYSON. *Smart clothes and wearable technology*. Boca Raton, Fla.: Published in North America by CRC Press, 2009. Woodhead publishing in textiles, no. 83. ISBN 14-398-0113-4.

25. LU, Xiao, Ping WANG, Dusit NIYATO, Dong In KIM a Zhu HAN. *Wireless Networks With RF Energy Harvesting: A Contemporary Survey* [online]. 2015, **17**(2), 757-789 [cit. 2020-03-19]. DOI: 10.1109/COMST.2014.2368999. ISSN 1553-877X. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6951347/>
26. HUANG, Kaibin a Erik LARSSON. Simultaneous Information and Power Transfer for Broadband Wireless Systems. In: *IEEE Transactions on Signal Processing* [online]. 2013, **61**(23), s. 5972-5986 [cit. 2020-03-19]. DOI: 10.1109/TSP.2013.2281026. ISSN 1053-587X. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6589954/>
27. KOZIOL, Michael. Ossia's Wireless Charging Tech Could Be Available By Next Year: The Cota wireless power system delivers 1 watt up to 1 meter away. *IEEE Spectrum* [online]. 28.6.2019 [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://spectrum.ieee.org/energywise/consumer-electronics/gadgets/ossias-wireless-charging-tech-may-be-available-by-2020>
28. *Oficiální stránky společnosti Ossia Inc.* [online]. [cit. 2020-03-19]. Dostupné z: <https://www.ossia.com/>
29. DE LA TORRE DÍEZ, Isabel, Miguel LOPEZ-CORONADO, Borja MARTÍNEZ-PÉREZ, Jesus HERREROS, Joel RODRIGUES, Gema CASTILLO a Aranzazu BERBEY-ALVAREZ. *Uses of RFID and NFC technologies in AAL Communications for Health: A Literature Review: A Literature Review* [online]. 2018 [cit. 2020-03-27]. DOI: 10.18687/LACCEI2018.1.1.9. ISSN 2414-6390.
30. RUSSEY, Cathy. Estimote Introduces Wearables To Monitor Workplace Contact Between Employees to Curb COVID-19 Outbreak. *Wearable technologies* [online]. 8.4.2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.wearable-technologies.com/2020/04/estimote-introduces-wearables-to-monitor-workplace-contact-between-employees-to-curb-covid-19-outbreak/>
31. Tepelné ztráty přípravy teplé vody. *Panelové domy* [online]. 15.1.2010 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://panelovedomy.ekowatt.cz/tepla-voda/39-tepelne-ztraty-pripravy-teple-vody.html>
32. ČERNODRINSKI, Stojan. HWAT: tichá revoluce v teplé vodě – rozhovor s odborníkem. *Tzbinfo: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. 27.2.2017 [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/15422-hwat-ticha-revoluce-v-teple-vode-rozhovor-s-odbornikem>
33. COCKROFT, J., A. COWIE, A. SAMUEL a P. STRACHAN. Potential energy savings achievable by zoned control of individual rooms in UK housing compared to standard central heating controls. *Energy and Buildings*. Elsevier, 2017, **136**, 1-11. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.11.036. ISSN 03787788. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778816315808>
34. Projekční podklady a pomůcky - Tepelná bilance objektu - denostupňová metoda. *Domovská stránka katedry TZB* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/?mod=podklady&id=1>



35. VAVŘIČKA, Roman. Metody návrhu zásobníku teplé vody. *Tzbinfo: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. 3.10.2011 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>
36. *Oficiální stránky zařízení TempTraq®* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://temptraq.healthcare/>
37. GARLÍK, Bohumír. *Inteligentní budovy*. Praha: BEN - technická literatura, 2012. ISBN 978-80-7300-440-8.
38. RIPKA, Pavel, Stanislav ĎAĎO, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. *Senzory a převodníky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3123-3.
39. *Oficiální stránky zařízení PowerWatch* [online]. [cit. 2020-05-23]. Dostupné z: <https://www.powerwatch.com/>
40. Chytrá karanténa. *Aktuální informace o COVID - 19: Oficiální informační portál MINISTERSTVA ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://koronavirus.mzcr.cz/chytra-karantena/>
41. PETRÁK, Jiří. Environmentální hodnocení spotřeby elektrické energie. *Tzbinfo* [online]. 24.9.2007 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/4370-environmentalni-hodnoceni-spotreby-elektricke-energie>
42. MUSIL, Ladislav. Plyn ve vytápění (I). *Tzbinfo: Nejnavštěvovanější odborný portál pro stavebnictví a technická zařízení budov* [online]. 17.10.2002 [cit. 2020-05-14]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-plynem/1163-plyn-ve-vytapeni-i>