



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

CHYTRÁ DOMÁCNOST: UČENÍ RUTIN

SMART HOME: LEARNING OF ROUTINES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR JUNÁK

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MATERNA ZDENĚK, Ph.D.

BRNO 2023

Abstrakt

Tato práce se zaměřuje na návrh, vývoj a implementaci inovativního chytrého systému, který využívá data o spánkovém režimu uživatele a strojové učení pro inteligentní ovládání světel v domácnosti. Hlavním cílem je zlepšení kvality spánku uživatele prostřednictvím optimalizace expozice světla, zejména snížením expozice studenému dennímu světlu před spánkem. Práce se vyznačuje důrazem na využití snadno dostupných dat, cenově dostupných hardwarových zařízení a open-source technologií. Jako primární zdroj dat byly využity chytré hodinky FitBit Charge 5, které poskytují podrobné informace o spánkových vzorcích uživatele. Vytvořený model strojového učení, konkrétně lineární regrese, je hostován na platformě Raspberry Pi, která také slouží jako centrální jednotka pro ovládání světel a řízení celkového systému. Kromě ovládání světla systém také podporuje zaslání upozornění uživateli o blížící se doporučené době začátku spánku, což přispívá k celkovému zlepšení spánkové hygieny a kvality spánku.

Abstract

This thesis focuses on the design, development, and implementation of an innovative smart system that uses user sleep data and machine learning for intelligent control of lights in a household. The main goal is to improve the user's sleep quality through the optimization of light exposure, particularly by reducing exposure to cool daylight before sleep. The work is characterized by an emphasis on the use of readily available data, cost-effective hardware devices, and open-source technologies. The primary source of data was the FitBit Charge 5 smartwatch, which provides detailed information about the user's sleep patterns. The created machine learning model, specifically linear regression, is hosted on the Raspberry Pi platform, which also serves as the central unit for controlling lights and managing the overall system. In addition to light control, the system also supports sending notifications to the user about the approaching recommended sleep start time contributing to the overall improvement of sleep hygiene and sleep quality.

Klíčová slova

Inteligentní domácnost, Kvalita spánku, Strojové učení, Expozice světlu, Teplota světla, Spánkový vzorec, Raspberry Pi, FitBit Charge 5, Automatizace, Ovládání světel, Předzpracování dat, Výběr vlastností, Hodnocení systému, metoda regresních lesů

Keywords

Smart Home, Sleep Quality, Machine Learning, Exposition to light, Light Temperature, Sleep Pattern, Raspberry Pi, FitBit Charge 5, Automation, Light Control, Data Preprocessing, Feature Selection, System Evaluation, regression forest method

Citace

JUNÁK, Petr. *Chytrá domácnost: učení rutin*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. Vedoucí práce Ing. Materna Zdeněk, Ph.D.

Chytrá domácnost: učení rutin

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Zdeňka Materny, Ph.D. Další informace mi poskytl... Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a další zdroje, ze kterých jsem čerpal.

.....
Petr Junák
7. srpna 2023

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu práce, Ing. Zdeňku Maternovi, Ph.D., své rodině a přátelům.

Obsah

1	Úvod	2
2	Přehled současného stavu	3
2.1	Internet of Things	3
2.2	Existující řešení chytrých domácností	3
2.3	Možnosti řízení chytré domácnosti	5
2.4	Využití chytré domácnosti ve spojení s daty rutin	8
2.5	Spánek a jeho význam	9
2.6	Technologie sledování spánku	11
2.7	Způsoby hodnocení spánkové kvality	13
3	Návrh řešení	16
3.1	Komponenty systému	16
3.2	Interakce mezi komponentami	18
3.3	Model strojového učení pro analýzu dat o spánku	18
3.4	Strategie řízení světla pro zlepšení spánku	22
4	Implementace a vyhodnocení	23
4.1	Sběr a zpracování dat	23
4.2	Implementace systému: Kroky a výzvy	23
4.3	Hodnocení funkčnosti systému	26
5	Závěr	28
5.1	Důsledky studie	28
5.2	Budoucí práce	29
	Literatura	30

Kapitola 1

Úvod

V každodenním životě o nás zařízení, kterými se obklopujeme, sbírají a hromadí podrobné údaje, které často nejsou nadále nijak využívány. To v kombinaci s rostoucí popularitou různých forem chytré domácnosti vytváří prostor pro využití těchto již existujících dat k učení skutečně inteligentní chytré domácnosti. Ta podrobně zná svého uživatele a ovládá jednotlivá zařízení na základě jeho rutin a predikcí jeho potřeb, za účelem zvýšení kvality jeho života.

Tato práce se zabývá návrhem a tvorbou prototypu součásti chytré domácnosti, která na základě dlouhodobě sbíraných dat o spánkovém režimu a potřebách uživatele, získaných z jeho chytrých hodinek, ovládá určité prvky chytré domácnosti, za účelem omezení vlivů, které negativně ovlivňují kvalitu spánku. Mezi tyto vlivy patří zejména silné studené denní světlo a zvýšená tělesná aktivita uživatele v době krátce před spánkem.

Záměrně byly zvoleny open-source technologie a cenově dostupná zařízení, aby mohlo dojít ke snadné implementaci systému chytré domácnosti jejím uživatelem. Pro sběr dat byly využity hodinky FitBit Charge 5 a celý systém se nachází na zařízení Raspberry Pi 4B, připojeném do lokální sítě, na kterou jsou napojeny i jednotlivé prvky chytré domácnosti. Pro propojení součástí systému byl použit nástroj Home Assistant a doplněk Node-Red. Ke sběru dodatečných dat byl také použit nástroj Enviro+ ve spojení s RaspberryPi Zero W.

Pro vyhodnocení spánkového režimu a potřeb uživatele byl využit model random fores, napojený na databázi spánkových údajů, do které byly denně přidávány nové záznamy z hodinek.

Vytvořený systém sám sbírá data, analyzuje je a na základě výsledků nastaví na žárovkách v domácnosti v predikovanou optimální dobu teplejší, méně rušivé světlo. To na rozdíl od ostrého modrého světla nebrání v tvorbě únavy blokadí produkce spánkového hormonu melatoninu. Systém posílá uživateli připomenutí klidového režimu před spánkem na mobilní telefon, případně jej upozorňuje na detekovanou spánkovou anomálii.

V práci se nejprve věnuji představení obecné problematiky chytrých domácností. Ta je součástí první kapitoly, věnující se přehledu současného stavu. V dalších podkapitolách této kapitoly specifikuji oblast učení rutin, které se moje práce věnuje a uvádím do problematiky spánku, jeho sledování a vyhodnocování. V následující kapitole se věnuji samotnému návrhu řešení problému, který jsem si v předchozích kapitolách vytyčil, a tím je sestavení systému, který na základě strojového učení pomáhá uživateli zvyšovat svoji kvalitu spánku. To, jak se mi ve výsledku sestavení systému povedlo, popisuji v následující kapitole jménem Implementace a vyhodnocení. V závěrečné kapitole pak shrnuji své poznatky, a také rozebírám možnosti využití této práce jak v mých následujících projektech, tak jako případný zdroj poznatků a inspirace pro ostatní.

Kapitola 2

Přehled současného stavu

V následující kapitole uvedu čtenáře jednak do širší problematiky chytrých domácností a jejich využití v současnosti, a jednak do podrobností týkajících se konkrétně rutin v rámci jejich fungování a využití strojového učení ke zdokonalování výsledků, které do lidského života chytré domácnosti přinášejí. Proberu v ní i otázku spánku a jeho sledování, resp. vyhodnocování jeho kvality.

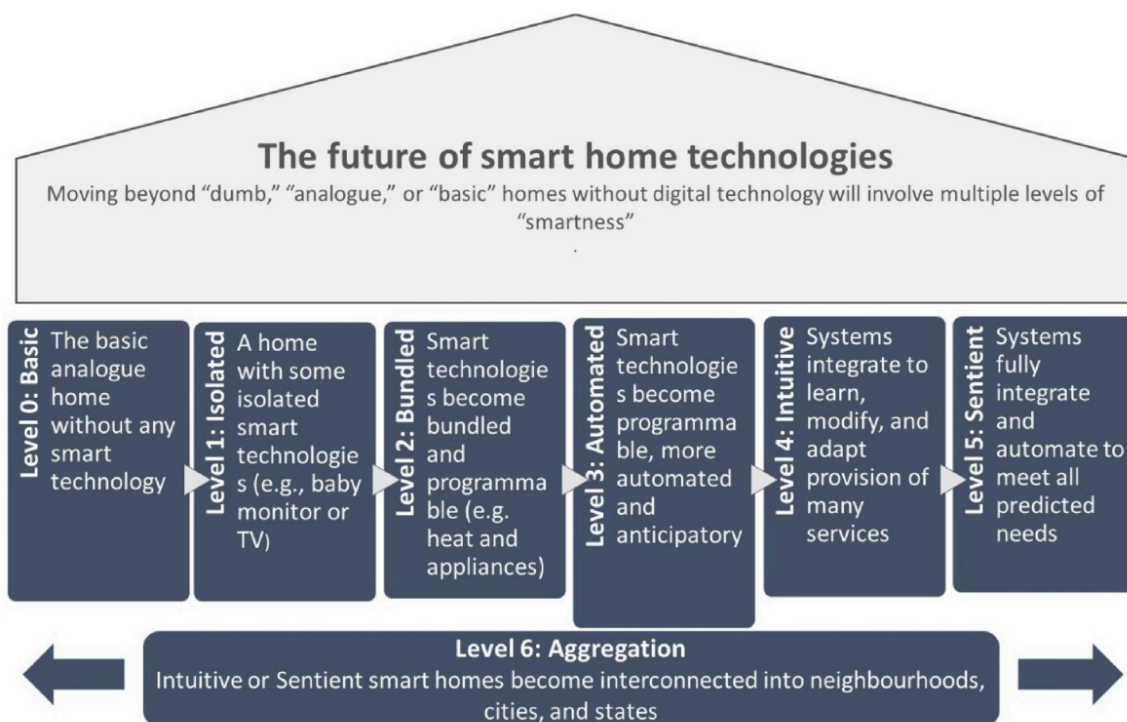
2.1 Internet of Things

Internet of Things, jinak česky též Internet věcí, je pojem, který běžně popisuje situaci, ve které se síťové propojení nevztahuje pouze na počítače v tradičním slova smyslu, ale i na běžné, dříve analogové předměty z našeho každodenního života. Takovýmto předmětem může být například vysavač, semafor či odpadkový koš. Za pomoci vzájemného síťového propojení v "internetu věcí" mohou tyto objekty vzájemně komunikovat a tím mnohonásobně zvýšit svou efektivitu a následnou kvalitu lidského života [25]. Mezi takovéto sítě se řadí právě také chytré domácnosti, o kterých se v následujících odstavcích rozepíšu více.

2.2 Existující řešení chytrých domácností

Než začnu popisovat jednotlivá existující řešení chytré domácnosti či jejich jednotlivých prvků, je nutné zmínit skutečnost, že ne všechny "chytré" nástroje a spotřebiče jsou doopravdy chytré. Mezi zcela "hloupým", analogovým domem a plně integrovanou a automatizovanou chytrou domácností se nacházejí domácnosti s různými stupni "chytrosti".

Autoři Sovacool a Del Rio tuto škálu rozdělili na 5 různých stupňů: Základní analogové domácnosti, obsahující pouze analogové nástroje, domácnost s jednou nebo několika izolovanými "chytrými" zařízeními, jako je například televize, dále dům, ve kterém jsou již chytrá zařízení nějakým způsobem propojená, pak domácnost, ve které se chytrá zařízení stávají více programovatelnými, automatizovanými a předvídavými, v předposledním stupni jsou systémy schopny integrace za účelem strojového učení, adaptace a poskytování mnoha služeb, a v posledním stupni je systém chytré domácnosti schopen převzít zodpovědnost za všechny funkce, které jsou v domácnosti potřeba. Dodatečnou, šestou úrovní je pak agregace, tedy kompletně chytré domácnosti komunikující mezi sebou navzájem v prostředí měst či států [6].



Obrázek 2.1: Úrovně chytrých domácností, zdroj: Sovacool a Del Rio, 2020[6]

O chytré domácnosti, jak ji popisují v této práci, lze podle této stupnice uvažovat ve stupních 3 a výše. Třetí stupeň může totiž zahrnovat i jednodušší centrálně řízené systémy, zatímco druhý stupeň je založen na individuální komunikaci jinak izolovaných zařízení, jakou je například komunikace internetového routeru s televizí. V popisu existujících řešení budu tedy nadále zohledňovat řešení, která mají nějaký centrální "mozek", který lze sám o sobě přeneseně nazvat "chytrou domácností", nikoliv jen několik chytrých zařízení vedle sebe.

Vědecký článek o komerčních chytrých domácnostech od autorského týmu Shirang Mare, Logan Girvin, Franziska Roesner a Tadayoshi Kohno z roku 2019 identifikuje následující nejpoblárnější řídicí jednotky chytrých domácností: SmartThing, Wink, Apple Home, Vera, Phillips Hue, Amazon Echo a Google Home[40]. V tomto článku se ale také píše například to, že ze všech zmíněných platforem, pouze Apple Home a Google Home považují nasbíraná data za výhradní majetek uživatele a poskytují uživateli možnost tato data smazat. Google Home je však pouze cloudovou platformou, a Apple je jakožto výrobce velmi pověstný uzavřeností svých systémů, což je v přímém rozporu se záměrem mé práce.

Ve výběru vhodného zařízení mi proto zbývala jen jediná možnost, a to vydat se formou DIY, tedy vlastnoručně vytvořené chytré domácnosti za pomoci některého z dostupných zařízení. Jednotlivé aspekty takového zařízení popíšu v následujících odstavcích.

Property	Ref.	SmartThing	Wink	Apple Home	Vera	Phillips Hue	Amazon Echo	Google Home
Hub category		Multi vendor	Multi vendor	Multi vendor	Multi vendor	Single vendor	Cloud only	Cloud only
Supports multiple users	[18, 24]	●	●	●	●	●	○	○
Access control								
Number of user types		2	2	2	4	1	1	1
Supports guest mode	[10]	○	○	●	○	○	○	○
Supports device level access	[12]	○	●	○	○	○	○	○
Time-based policies	[12]	○	○	○	○	○	○	○
Location-based policies	[3]	○	○	●	○	○	○	○
Privacy								
Detects user presence		●	●	●	●	○	N/A	N/A
User owns the data	[17]	Unclear	Unclear	●	Unclear	Unclear	Unclear	●
User can delete data	[14, 17]	Unclear	Unclear	●	Unclear	Unclear	●	●
Data shared between users	[4, 19]	All	Some	None	Some	None	N/A	N/A
Location where data is stored	[9]	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud
Automation								
Communication model		Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed	Mixed
Provides-test-environment	[16, 23]	○	○	○	●	○	○	○
Sends device unavailable alert	[5]	○	○	○	○	○	○	○
Network resilience	[6]							
Local processing		●	●	●	●	●	○	○
Local control		○	●	●	●	●	○	○

Table 1: Smart home comparison; Refs. column lists example prior work we used to derive the corresponding property. ● indicates the smart home supports the property; ○ indicates it does not.

Obrázek 2.2: Srovnání komerčních platform pro chytré domácnosti. Zdroj: Mare, Girvin, Roesner, Kohno (2019)[40]

2.3 Možnosti řízení chytré domácnosti

Chytré domácnosti se po světě vyskytují v široké škále komplexity a technické vybavenosti. Od jednoduchých hlasových asistentů a chytrých televizí až po velmi komplikované systémy, které zahrnují celou řadu vzájemně propojených domácích spotřebičů. Jelikož se ale ve výsledku jedná o počítače, jejich řízení se stejně jako řízení jiných počítačů skládá ze dvou polovin - software a hardware.

2.3.1 Software chytré domácnosti

Chytrá domácnost, jakožto soustava chytrých elektronických zařízení, která buď přijímají potřebná data a signály, vykonávají nějakou činnost nebo plní obě tyto funkce naráz, potřebuje centrální operační systém, který jednotlivé prvky domácnosti propojuje a dává jim úkoly, které mají provádět. Takovýchto řídicích systémů je v oblasti chytrých domácností na trhu hned několik a liší se jednak funkcemi, které nabízejí, a jednak otevřeností či uzavřeností zdrojového kódu.

Closed source

Jako closed source se obecně označují programy, jejichž kód není přístupný veřejnosti a mají k němu přístup jen jeho vývojáři. Jedná se tedy často o komerční software vyvíjený za účelem zisku, do jeho vývoje zpravidla proudí větší finanční investice a proto může některými

svými funkcemi či rozsahem technické podpory převyšovat software s otevřeným kódem. Jeho nevýhodou je nemožnost jej upravovat, nízká transparentnost a oproti open-source zpravidla i vysoká cena.

Open-Source

Pojmem Open-source označujeme typ softwaru, jehož kód si může kdokoliv prohlédnout. Z toho důvodu je u něj nemožné zpoplatnění v tradičním slova smyslu a proto je vyvíjen buď zdarma softwarovými nadšenci, nebo za pomoci dobrovolných příspěvků od uživatelů. Vzhledem k mnohem nižšímu rozpočtu může být uživatelsky složitější, což je vykompenzováno možnostmi úpravy softwaru pro vlastní potřeby, transparentností a cenou. Pro potřeby následujícího výzkumu jsem zvolil software právě z této kategorie, jelikož jednou z priorit mého výzkumu je snadná replikovatelnost, a zároveň je pro mě důležité vidět dovnitř systému a mít přehled nad tím, co jej pohání a jak jej lze upravovat. Z nabídky dostupného otevřeného softwaru jsem vybral program Home Assistant a doplněk Node-Red.

Home Assistant

Jedním z hlavních důvodů, proč jsem se rozhodl použít Home Assistant, je jeho široké rozšíření a otevřenost. Jedná se o open-source platformu, což znamená, že je zdarma a její zdrojový kód je volně dostupný. To umožňuje komukoli přispět k jeho vývoji a vylepšování, což vede k rychlému rozvoji a inovacím [3].

Díky své otevřenosti a flexibilitě je Home Assistant velmi oblíbený v komunitě vývojářů a uživatelů domácí automatizace. To znamená, že existuje mnoho dostupných zdrojů, návodů a komunitní podpory, což usnadňuje jeho použití a integraci s různými zařízeními a službami.

Home Assistant také podporuje širokou škálu zařízení a technologií, což z něj dělá univerzální nástroj pro domácí automatizaci. Může tak sloužit nejen jako jádro systému, kterým se tato práce zabývá, ale zároveň plnit mnoho dalších funkcí v chytré domácnosti. Tomu pomáhá i silný ekosystém doplňků a integrací, které umožňují snadnou a plynulou integraci s mnoha různými službami a zařízeními.

Kromě toho, Home Assistant je navržen tak, aby respektoval soukromí uživatelů. Veškerá data jsou zpracovávána a ukládána lokálně, což znamená, že uživatel má plnou kontrolu nad svými daty. To je pro zejména důležité kvůli choulostivosti spánkových dat.

Node-RED

Node-RED je nástroj pro vizuální programování, který umožňuje uživatelům snadno vytvářet a upravovat workflow prostřednictvím intuitivního drag-and-drop rozhraní [32].

Jedním z hlavních důvodů, proč byl Node-RED vybrán, je jeho snadná integrace s Home Assistantem. Node-RED lze nainstalovat jako doplněk do Home Assistantu, což umožňuje snadné a plynulé propojení těchto dvou platform. Tím je umožněno zjednodušení a vizualizace vnitřního fungování systému.

Díky tomu je systém přístupnější i pro uživatele bez hlubokých znalostí programování, což takovýmto případným uživatelům umožní si části systému snadno nastavit, či upravit.

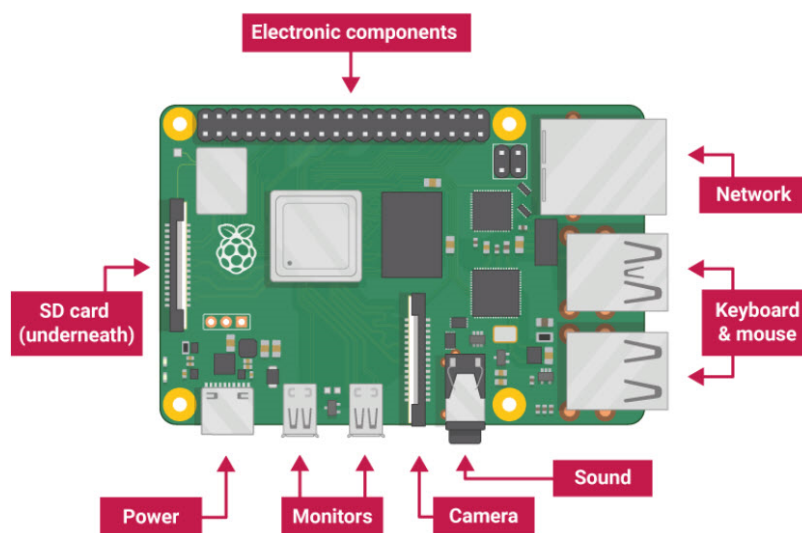
Node-RED také podporuje širokou škálu uzlů a integrací, což umožňuje snadnou a plynulou integraci s mnoha různými službami a zařízeními, díky čemuž jej lze snadno propojit s téměř libovolným zařízením.

2.3.2 Hardware chytré domácnosti

Při výběru hardware jsem postupoval podle podobných kritérií, jako při výběru software. Určitě existuje řada již předem hotových řešení chytrých domácností, které stačí pouze propojit s náležitým spotřebičem, nicméně takové řešení by mi neumožnilo sestavit vlastní systém a měřit na něm potřebné údaje, ani jej učit na poskytnutých datech. Proto jsem zvolil co možná nejdostupnější a nejotevřenější hardwarové řešení.

Raspberry Pi Zero & Raspberry Pi 4B

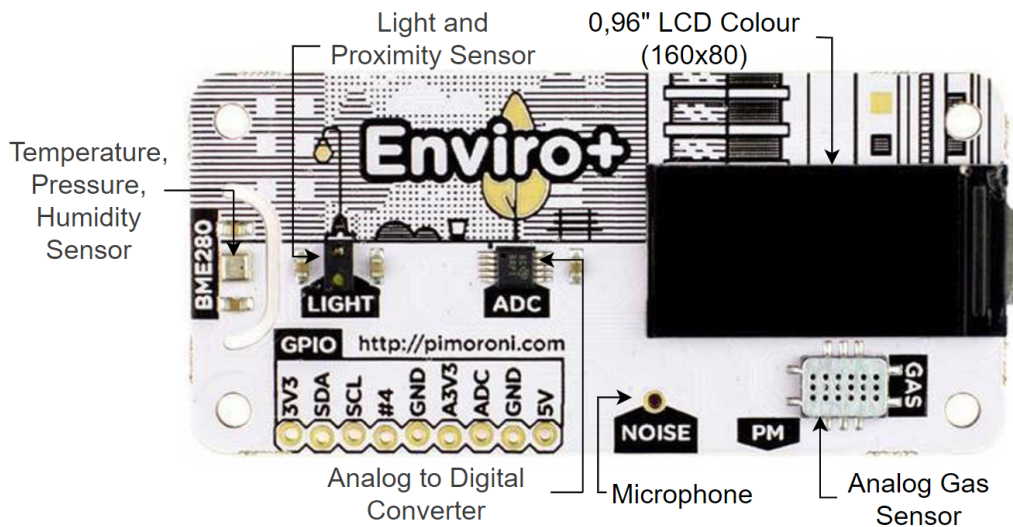
Díky otevřené povaze platformy Raspberry Pi je možné systém snadno přizpůsobit a rozšířit podle potřeb konkrétního výzkumu. To zahrnuje možnost přidání dalších senzorů nebo implementaci pokročilých funkcí zpracování dat. Dále jsou zařízení Raspberry Pi 4B a Raspberry Pi Zero jsou také poměrně nenákladná a tedy vhodná pro osobní domácí použití.



Obrázek 2.3: Raspberry Pi 4B

Enviro+

Doplňkové zařízení Enviro+ bylo vybráno kvůli své malé velikosti a širokému sortimentu čidel, mezi které patří zejména světloměr a hlukoměr, které jsou systémem využívány. Další čidla jako je kupříkladu teploměr nebo měřič znečištění vzduchu mohou být potenciálně v budoucnu použity pro rozšíření systému o další monitorované a kontrolované údaje. Stejně jako všechna ostatní využívaná zařízení je Enviro+ cenově dostupné.



Obrázek 2.4: Senzory Enviro+, převzato z core-electronics.com.au

2.4 Využití chytré domácnosti ve spojení s daty rutin

Funkce chytrých domácností lze rozdělit mj. i na nárazové a rutinní. K nárazovým bychom mohli zařadit například funkce hlasových asistentů, kteří odpovídají na položené dotazy či provádějí úkony, které jsou jim v tu chvíli sděleny, ať už se týkají asistenta samotného či některého ze zařízení zapojených do chytré domácnosti. Jako nárazovou funkci můžeme definovat také rozsvícení a zhasínání světel v závislosti na tom, jestli je zrovna někdo v místnosti. Ze své podstaty se tedy jedná o jakoukoli funkci, která nemá pravidelný časovač a rámec, ve kterém se pravidelně opakuje. Automatické rozsvícení světel funguje stejně bez ohledu na to, zda je v domácnosti někdo každý den, nebo přijde jednou za měsíc.

Rutinní funkce chytrých domácností, tedy ty, kterým se tato práce věnuje, jsou závislé na opakujícím se časovém rámci. Odpovídají na ty lidské potřeby, které se pravidelně opakují a nevyžadují proto spouštěč, který v nich funkci vyvolá. Může s k nim například řadit funkce, kdy chytrá televize každý večer v určitou hodinu zapne nějaký televizní program, chytré vytápění v předem daný čas o několik stupňů zvýší či sníží teplotu domácnosti, či chytrý bezpečnostní systém v určitou dobu provede každodenní kontrolu. Lidé mají mnoho základních potřeb, které vyžadují každodenní plnění. Jednou z těch nejhlavnějších a zároveň nejpravidelnějších a nejlépe měřitelných je však spánek. Ve své práci o učení rutin v rámci chytré domácnosti jsem si proto zvolil spánek jakožto klíčovou rutinu, kterou bude mnou vytvořený systém v rámci dlouhodobého projektu následovat.

Téma spánku také poskytuje příležitost k výzkumu strojového učení, jelikož každý individuální spánkový cyklus je v něčem odlišný, a proto je pro chytrou domácnost velmi výhodné, když dokáže odhadovat specifika následujících spánkových cyklů ještě předtím, než skutečně nastanou, a tím pomoci se zajištěním co nejlepší možné kvality života v domácnosti i v této oblasti.

2.5 Spánek a jeho význam

Spánek je jednou ze základních lidských potřeb, což znamená, že bez něj nemůže lidské tělo přežít. Stejně jako u jiných aspektů lidského života, i v případě spánku však nestačí pouze jeho přítomnost v jakékoli podobě, ale záleží i na jeho kvalitě. Od té se totiž odvíjí důležité aspekty našeho zdraví, jak fyzického, tak i duševního. Kvalita spánku, který máme, tak přímo ovlivňuje kvalitu našeho života.

Spánek upevňuje jak deklarativní, tedy faktuální paměť, tak i emoční a procedurální paměť, která nám umožňuje podvědomě vykonávat naučené schopnosti a dovednosti, jako je například jízda na kole. Spánek má zároveň pozitivní vliv nejen na množství uchovaných vzpomínek, ale i na jejich celkovou kvalitu. Protože se ve spánku vzpomínky stále reorganizují, je mozek schopen si při dostatečné kvalitě a načasování spánku vybavit nové detaily a spojitosti, které jsou ve vzpomínkách uchovány, ačkoli se dříve mohly zdát zapomenuty. [15].

Kromě pozitivního vlivu na kognitivní vnímání má spánek také zásadní vliv na naše fyzické zdraví. Chronický nedostatek spánku vede k vážným zdravotním problémům, včetně kardiovaskulárních onemocnění, obezity a diabetu. To je dáno tím, že spánek ovlivňuje procesy, které udržují zdraví našeho srdce a krevních cév, včetně správné hladiny krevního cukru, krevního tlaku a zánětlivosti [11].

Spánek představuje reálný léčebný prostředek a jeho zkvalitnění přináší výhody také v oblasti duševního zdraví. Zvýšení jeho kvality je kauzálně spojováno s výrazným snížením závažnosti duševních onemocnění nehledě na jejich komorbiditu. Intervence zaměřené na zlepšení spánku jsou doporučovány zejména při depresi, úzkosti a stresu[1].

Cirkadiánní rytmus a spánek mají zásadní roli v imunologických procesech. Dlouhodobě zkrácenou dobu spánku doprovází stresová reakce vyvolávající nespecifickou produkci prozánětlivých cytokinů. Nejlépe si tento proces lze představit jako trvalý zánět nízkého stupně. Narušený spánek nebo nedostatek spánku takto může vést k oslabenému imunitnímu systému a zvýšené náchylnosti k infekcím [7].

V kontextu chronických nemocí mohou poruchy spánku dále snižovat kvalitu života spojenou se zdravím. Například pacienti s chronickým onemocněním ledvin často trpí spánkovými poruchami[43], které pak značným dílem přispívají ke zhoršení jejich chronického onemocnění. Takto nemocní lidé tedy pocítí zlepšení či zhoršení kvality spánku mnohem více, než lidé zdraví.

Závěrem, spánek je životně důležitý fyziologický proces s dalekosáhlými důsledky pro naše kognitivní, fyzické a mentální zdraví. Proto by porozumění a zlepšování kvality spánku mělo být prioritou v péči o zdraví a řízení životního stylu.

2.5.1 Faktory ovlivňující kvalitu spánku

Podle dostupných vědeckých studií patří mezi nejvýznamnější faktory ovlivňující kvalitu spánku:

1. **Modré světlo před spánkem** Modré světlo, které je často emitováno elektronickými zařízeními, může negativně ovlivnit kvalitu spánku tím, že potlačuje produkci melatoninu, hormonu, který reguluje spánkový cyklus [10]. Studie provedená Changem et al. [12] ukázala, že expozice modrému světlu před spaním může zvýšit bdělost a potlačit REM fázi spánku.

2. **Fyzická aktivita** Fyzická aktivita může mít pozitivní vliv na kvalitu spánku tím, že ovlivňuje hladiny adenosinu a tělesnou teplotu. Nicméně, pokud je prováděna pozdě večer, může způsobit narušení spánku zvýšením fyziologického vzrušení [31].
3. **Hluk během spánku** Hluk může způsobit probuzení, změnu spánkových stádií a zvýšení pohybu končetin. Dlouhodobá expozice hluku může vést k chronickým poruchám spánku[5].
4. **Světlo během spánku** Expozice světla během spánku může negativně ovlivnit kvalitu spánku. Studie Cho et al. (2019) [13] zjistila, že expozice světlu během spánku může potlačovat sekreci melatoninu, zvyšovat tělesnou teplotu a zvyšovat srdeční frekvenci, což vše může vést k narušení spánku.
5. **Světlo během dne** Množství světla vstupujícího do oka během dne má pozitivní vliv na kvalitu spánku následující noci. Expozice světlu během pracovních dnů je pravidelná, ale během volných dnů se silně liší. Ve studii *Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood* nebyly zjištěny žádné důkazy o vlivu věku, pohlaví nebo skóre sezónní afektivní poruchy (SAD) na denní expozici světlu u kancelářských pracovníků[23].
6. **Stres a úzkost** Stres a úzkost mohou způsobit nespavost a jiné problémy se spánkem. Výzkum ukázal, že vysoké úrovně stresu mohou narušit spánkové vzorce a zhoršit kvalitu spánku [33].
7. **Strava** Strava může ovlivnit kvalitu spánku. Konzumace potravin s vysokým obsahem cukru a kofeinu může narušit spánkové vzorce [42].
8. **Bolest:** Bolest může zhoršit kvalitu spánku tím, že způsobuje probuzení během noci a narušuje normální spánkové vzorce [18].
9. **Celková doba spánku** Doba spánku přímo ovlivňuje jeho kvalitu vícero způsoby. Zkrácený spánek nedává dostatečný prostor pro potřebný počet spánkových cyklů a může tak snížit celkovou dobu hlubokého a REM spánku. Nedostatečná délka spánku může také vést k narušení cirkadiánních rytmů, což může mít další negativní dopady na kvalitu spánku a celkové zdraví. Při předčasném probuzení se také výrazně zvyšuje pravděpodobnost probuzení přímo z hlubokého, nebo REM spánku, což může způsobit dezorientaci a sníženou subjektivní kvalitu spánku kvůli ospalosti po probuzení a během dne [39] [8].
10. **Další vlivy** Různé genetické pozadí, pohlaví, věk a expozice světlu vedou k distribuci nastavených cirkadiánních fází nebo chronotypů [16, 21, 35]. Rozdíl mezi místním časem (externím a kolektivním) a biologickým časem (interním a individuálním) může být značný. Když jsou standardizované sociální rozvrhy široce uplatňovány, jako například školní a pracovní doby, osoby s různými chronotypy studují a pracují ve stejném místním čase, ačkoli jejich vrcholový kognitivní a fyzický výkon obvykle kolísá podle jejich biologického času. Nesoulad mezi biologickým a sociálním časem se nazývá sociální jetlag [45]. Sociální jetlag může být hodnocen jako absolutní rozdíl mezi středem spánku ve všední dny a ve volných dnech. Sociální jetlag je obvykle větší u pozdějších chronotypů (těch, kteří spí pozdě), což také znamená, že pozdní chronotypy jsou obvykle více spánkově deprivované během školního / pracovního týdne [35, 45].

Ve studiích byl sociální jetlag (>2 hod) spojen s poklesem akademického výkonu [22] a s několika zdravotními problémy, jako je zvýšené riziko konzumace cigaret a alkoholu, nadváha, kardiovaskulární riziko, cukrovka a deprese [24, 26, 27, 28, 30, 36, 45, 46]. V této studii jsme se snažili snížit sociální jetlag prostřednictvím praktických intervencí pomocí světla, vzhledem k tomu, že světlo je nejsilnějším zeitgeberem pro lidské behaviorální nastavení [16, 35].

Všechny kvality světla - jako je jeho načasování, spektrální kvalita, intenzita a doba trvání - přispívají k cirkadiánnímu nastavení [16, ?]. Při expozici světlu v různých dobách dne mohou všechny cirkadiánní hodiny, včetně těch lidských, reagovat posuny nebo zpožděními. Konkrétně expozice světla ve večerních hodinách (na začátku biologické noci) vede k fázovým zpožděním a expozice světla ráno (na konci biologické noci) vede k fázovým posunům [35]. Některé terénní studie již ukázaly, že intervence spojené s ranní a / nebo večerní expozicí světla mohou ovlivnit fázi nastavení odhadovanou prostřednictvím DLMO [?]. Barva světla také hraje důležitou roli, přičemž světlo s krátkou vlnovou délkou (480 nm) je nejúčinnější při posouvání fáze / načasování DLMO [9, 37, 47]. Pokud se vlnová délka udržuje konstantní, odpověď na různé intenzity světla a doby trvání je dávkově závislá, ačkoli vztah není vždy lineární [19, 41, 44, 49].

2.5.2 Vybrané faktory

Není možné přímo ovlivňovat ani sledovat všechny faktory, které mají na spánek vliv. Tato práce se soustředí na práci s faktorem vystavení modrému světlu, faktorem fyzické aktivity a případným faktorem přítomnosti rušivých elementů během spánku, jako je hluk či světlo.

1. **Modré světlo** před spánkem je ovlivňováno kontrolou teploty světla v místnosti v závislosti na předpovězeném spánkovém režimu uživatele.
2. **Fyzická aktivita** a **celková doba** spánku je ovlivňována skrze připomínky na včasnou přípravu ke spánku skrze aplikaci Home Assistant a snahu o upravení spánkového režimu tím, že stimuluje přirozenou ospalost v určenou dobu prostřednictvím nastavení teploty světla v místnosti.
3. **Hluk během spánku** a **Světlo během spánku** jsou monitorovány pro snížení chybovosti spánkových dat skrze vyřazení instancí ovlivněných těmito faktory.

2.6 Technologie sledování spánku

Výzkumy ukazují, že komerční trh pro technologie monitorování a zlepšování osobního zdraví a sportovního výkonu se neustále rozšiřuje [38]. Existuje široká škála chytrých hodinek, náramků, oděvů a náplastí s vestavěnými senzory, malých přenosných zařízení a mobilních aplikací, které uživatelům poskytují zpětnou vazbu o mnoha různých proměnných, týkajících se fyzického výkonu. Tyto proměnné zahrnují kardiorespirační funkci, vzorce pohybu, analýzu potu, oxysličení tkání, spánek, emoční stav a změny kognitivní funkce po otřesu mozku.

Chytré hodinky a další podobné technologie jsou nyní schopny poskytovat uživatelům zpětnou vazbu v reálném čase díky miniaturizovaným sensorům, integrovaným výpočetním systémům a umělé inteligenci [17]. Vývoj těchto technologií byl tradičně řízen bioinženýry, ale efektivní validace technologie pro "reálný svět" a vývoj efektivních metod pro zpracování

dat vyžaduje spolupráci s matematiky a fyziology.

Příklady technologií

Jedním z příkladů takových technologií je například zařízení Moxy, které měří hladinu okysličením ve skeletovém svalu. Dalším příkladem je zařízení PortaMon, které měří oxy-, deoxy- a celkový hemoglobin ve skeletovém svalu. Tyto zařízení jsou založeny na principech blízké infračervené spektroskopie. Zařízení PortaMon bylo validováno pomocí fosforové magnetické rezonanční spektroskopie (31 P-MRS). Hlavní omezení těchto zařízení spočívá v tom, že k interpretaci dat, která produkují, je vyžadována určitá odbornost [20].

Různá mobilní zařízení byla vyvinuta pro záznam a analýzu tréninkových zátěží a záznamů o zraněních. Tyto aplikace sledují širokou škálu metrik, které zahrnují aspekty jak fyzické, tak psychologické zátěže. Hlavním omezením některých těchto aplikací je velké množství dat, která zaznamenávají, a nedostatečné řešení toho, jak dávat všem těmto datům smysl [34].

Řada zařízení a mobilních aplikací byla vyvinuta pro sledování fyziologického stresu a zátěže během cvičení. Zařízení nabízejí některé potenciální výhody a funkce oproti tradičním monitorům srdeční frekvence pro hodnocení požadavků na autonomní nervový systém a kardiovaskulární systém během a po cvičení. Mohou tedy být použity sportovci, vojáky a pracovníky zapojenými do fyzicky náročných prací (např. hasiči) k monitorování fyzické zátěže během cvičení/práce a k posouzení, kdy se dostatečně zotavili [4].

2.6.1 Vybrané technologie

Fitbit Charge 5 Hodinky Fitbit Charge 5 jako hlavní nástroj pro sběr dat o spánku byly vybrány z více důvodů. Jakožto nositelné a nenápadné zařízení nabízí nenarušující metodu sledování vzorců spánku, což je obzvláště prospěšné pro dlouhodobé studie spánku, protože nezasahuje do každodenní rutiny uživatele nebo prostředí spánku a umožňuje sledování vývoje vzorců spánku vlivem dlouhodobého působení systému. [29].

Podle studie Mantua et al. zařízení Fitbit ukázalo rozumnou přesnost v klasifikaci fází spánku ve srovnání s polysomnografií, která je považována za zlatý standard pro studie spánku. Studie zjistila, že citlivost zařízení Fitbit byla obzvláště vysoká při detekci spánku ve srovnání s bděním [29].

Studie Cook et al. naznačila, že zařízení Fitbit by mohlo být užitečné pro velké epidemiologické studie. Zařízení poskytují možnost sběru dat o spánku od velkého počtu účastníků po delší dobu, což není proveditelné s tradičními metodami studie spánku [14]. Tato studie také našla významnou korelaci mezi měřeními spánku získanými pomocí Fitbit a sebehodnocenými měřeními spánku, což naznačuje, že zařízení Fitbit mohou poskytnout spolehlivé měření vzorců spánku, jak je vnímá uživatel [14].

Studie de Zambotti et al. naznačila, že zařízení Fitbit by potenciálně mohlo být použito k detekci poruch spánku. Studie zjistila, že zařízení bylo schopné rozlišit mezi adolescenty s příznaky nespavosti a bez nich [48].

Ačkoliv běžná komerční zařízení nedosahují přesnosti profesionálních nemocničních měřičů, u modelů zařízení Fitbit, jako je Fitbit Flex, bylo prokázáno, že poskytují dostatečnou přesnost pro detekci fází spánku u běžného uživatele.

Zvolené zařízení Fitbit Charge 5 je novější model oproti modelům testovaným ve studiích, což znamená, že zahrnuje pokroky v technologii a vylepšení algoritmů pro sledování spánku. To by mohlo potenciálně vést k ještě přesnějším a detailnějším datům o spánku.

Nakonec je Fitbit Charge 5 v porovnání s jinými zařízeními pro sledování spánku relativně cenově dostupný, což z něj činí nákladově efektivní volbu pro tuto studii. Díky své cenové dostupnosti je také realistickou možností pro jednotlivce, kteří by chtěli sledovat své vzorce spánku z důvodů osobního zdraví.

2.7 Způsoby hodnocení spánkové kvality

Pittsburgh Sleep Quality Index Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI) [2] je nástroj pro hodnocení kvality spánku a spánkových poruch. PSQI je složen z 19 položek, které hodnotí sedm komponent spánku: subjektivní kvalitu spánku, latenci spánku, dobu spánku, efektivitu spánku, poruchy spánku, použití léků na spaní a denní dysfunkci. Každá komponenta je hodnocena na škále od 0 do 3, přičemž vyšší skóre značí větší spánkovou poruchu. Celkové skóre PSQI se pohybuje od 0 do 21, přičemž hodnoty vyšší než 5 obecně ukazují na špatnou kvalitu spánku.

PSQI je široce používán v klinické praxi a výzkumu pro hodnocení spánku u různých populací, včetně starších dospělých, pacientů s rakovinou, pacientů po operaci a dokonce i u zdravých jedinců. PSQI je uznáván pro svou schopnost poskytnout komplexní hodnocení spánku, které zohledňuje jak kvantitativní, tak kvalitativní aspekty spánku.

2.7.1 Vybraný způsob hodnocení

Přestože PSQI poskytuje komplexní hodnocení kvality spánku, pro účely tohoto systému je použit pouze SleepQualD (denní kvalita spánku). Hlavním důvodem je, že systém pracuje na denní bázi a snaží se upravit denní spánkový režim, který je v přímé korelaci se SleepQualD.

PSQI hodnotí kvalitu spánku na základě sedmi různých komponent, z nichž některé mohou být méně relevantní pro denní monitorování a úpravu spánkových vzorců. Například komponenty jako použití léků na spaní nebo denní dysfunkce nemusí být pro tento systém tak důležité.

Na druhou stranu, SleepQualD se zaměřuje na klíčové aspekty spánku, které jsou přímo spojeny s celkovou kvalitou spánku a které lze snadno sledovat a upravovat na denní bázi. To zahrnuje dobu usínání, efektivitu spánku, rušení spánku, procento hlubokého spánku a procento REM spánku.

V budoucnu by bylo možné rozšířit tento systém o další parametry z PSQI, aby se dosáhlo ještě podrobnějšího a přesnějšího hodnocení kvality spánku. To by však vyžadovalo další výzkum a úpravy systému.

Výpočet SleepQualD

SleepQualD je součet šesti komponent, z nichž každá reprezentuje jiný aspekt spánku.

$$SleepQualD = \alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon \quad (2.1)$$

α : Doba usínání (minuty)

Reprezentuje dobu, která uplyne od chvíle, kdy se člověk uloží do postele, do chvíle, kdy usne.

β : Celková doba spánku (%)

Reprezentuje poměr celkové doby spánku k celkové době strávené v posteli.

Obrázek 2.5: Komponenty pro výpočet SleepQualD

Component 1: Sleep onset latency (a)	Recorded value	Score (α)
	$a \leq 15$ min	0
	$15 \text{ min} < a \leq 30$ min	1
	$30 \text{ min} < a \leq 60$ min	2
	$a > 60$ min	3
Component 2: Actual sleep duration (b)	Recorded value	Score (β)
	$b > 7$ hrs	0
	$6 \text{ h} < b \leq 7$ h	1
	$5 \text{ h} < b \leq 6$ h	2
	$b \leq 5$ hrs	3
Component 3: Sleep efficiency (c)	Recorded value	Score (γ)
	$c > 85\%$	0
	$75\% < c \leq 85\%$	1
	$65\% < c \leq 75\%$	2
	$c \leq 65\%$	3
Component 4: Sleep disturbance: in bed awake duration (d)	Recorded value	Score (δ)
	$d \leq 20$ mins	0
	$20 \text{ mins} < d \leq 30$ mins	1
	$30 \text{ mins} < d \leq 40$ mins	2
	$d > 40$ mins	3
Component 5: Percentage deep sleep (e)	Recorded value	Score (ϵ)
	$e > 10\%$	0
	$e \leq 10\%$	1
Component 6: Percentage REM (f)	Recorded value	Score (η)
	$20\% \leq f \leq 25\%$	0
	$f < 20$ OR $f > 25$	1

- γ : Efektivita spánku (minuty)
Reprezentuje poměr mezi celkovou dobou v posteli a spánkem.
- δ : Rušení spánku (minuty)
Reprezentuje dobu bdění během spánku.
- ϵ : Procento hlubokého spánku (%)
Reprezentuje podíl doby spánku strávené v hlubokém spánku.
- ζ : Procento REM spánku (%)
Reprezentuje podíl doby spánku strávené v REM spánku.

Každá z těchto komponent je ohodnocena skóre a součet těchto skóre dává SleepQualD. Celkové skóre se pohybuje od 0 do 14, kde nižší skóre označuje zdravější denní kvalitu spánku.

Kapitola 3

Návrh řešení

Navrhovaný systém chytré domácnosti je založen na platformě Home Assistant, která běží na zařízení Raspberry Pi 4B. Tento systém shromažďuje data o spánku uživatele z jeho chytrých hodinek, což zahrnuje informace o délce spánku, hlubokém spánku, REM spánku, minutách zvýšené srdeční aktivity během dne atd. Tato data jsou rozdělena na jednotlivé dny a algoritmicky se z nich určuje kvalita spánku.

Všechna tato data jsou poté použita pro strojové učení modelu náhodných lesů. Výstupem tohoto modelu je počet minut, které by měla osoba spát pro optimální kvalitu spánku. Toto číslo se pak používá k určení, kdy by se uživatel měl jít vyspat, na základě času, ve kterém si nastavil, že se chce probudit pro pracovní dny / víkendy.

Na základě určeného času, kdy by se uživatel měl jít vyspat, se mu pošle připomínka a světla v jeho pokoji změni teplotu na teplejší světlo obsahující menší složku modrého světla, které by bránilo budování "ospalosti".

Tento systém je navržen tak, aby byl co nejvíce přizpůsoben potřebám uživatele a zároveň aby byl co nejefektivnější v podpoře kvalitního spánku. Využití technologie Raspberry Pi a platformy Home Assistant umožňuje flexibilitu a širokou škálu možností pro další rozvoj a integraci s dalšími chytrými zařízeními.

3.1 Komponenty systému

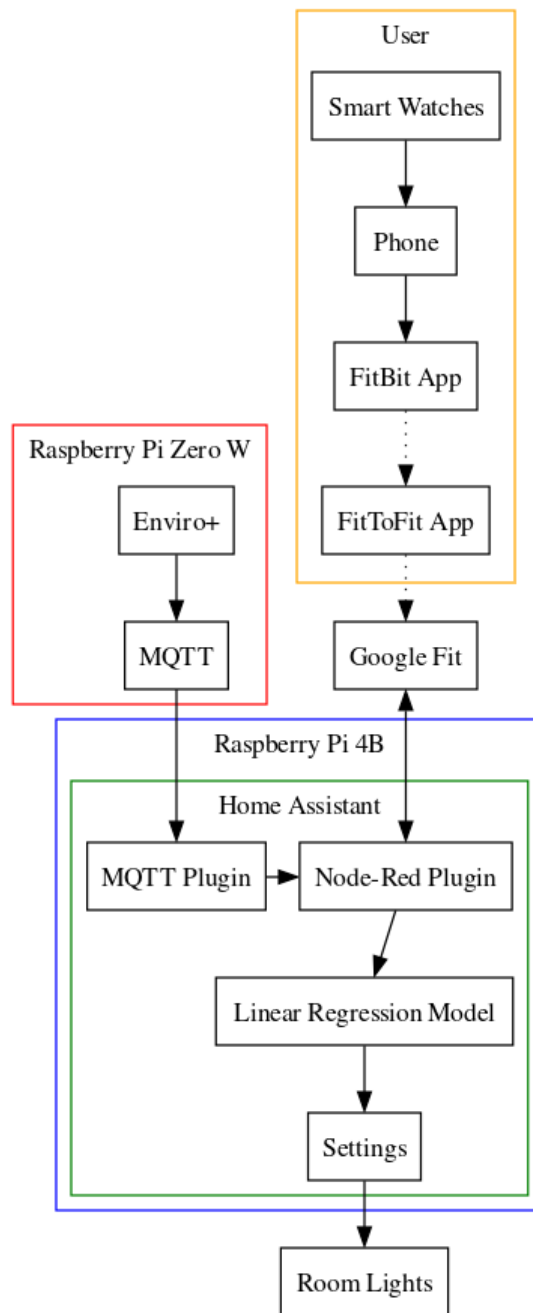
Systém chytré domácnosti, který jsme navrhli, se skládá z několika klíčových komponent, které spolu pracují, aby poskytly uživateli optimální prostředí pro spánek. Tyto komponenty zahrnují:

- **Raspberry Pi 4B:** Toto je hlavní řídicí jednotka celého systému. Na Raspberry Pi běží platforma Home Assistant, která umožňuje integraci a řízení různých chytrých zařízení v domácnosti.
- **Raspberry Pi Zero a Enviro+:** Kombinace těchto dvou zařízení umožňuje sběr kontrolních dat během spánkové doby o přítomnosti rušivých jevů ve formě vysoké hladiny hluku, nebo světla a tím umožňuje odstranit ovlivněné instance dat.
- **Chytré hodinky:** Chytré hodinky jsou nositelné zařízení, které uživatel nosí na zápěstí. Tyto hodinky shromažďují data o spánku uživatele, včetně délky spánku, hloubky spánku, REM spánku a minut zvýšené srdeční aktivity během dne.

- **Chytrá světla:** Chytrá světla v pokoji uživatele jsou schopna měnit teplotu světla na základě času a preferencí uživatele. Když se blíží čas, kdy by se uživatel měl jít vyspat, světla se automaticky přepnou na teplejší světlo, které pomáhá s "ospalostí".
- **Algoritmus pro určení kvality spánku:** Tento algoritmus zpracovává data shromážděná chytrými hodinkami a určuje kvalitu spánku uživatele. Tato informace se pak používá k vytvoření personalizovaného plánu spánku pro uživatele.
- **Strojové učení regresního stromu:** Tento model využívá shromážděná data k předpovědi, kolik minut by měl uživatel spát pro optimální kvalitu spánku.
- **Připomínky:** Systém posílá uživateli připomínky, když se blíží čas, kdy by se měl jít vyspat. Tyto připomínky pomáhají uživateli dodržovat jeho personalizovaný plán spánku.

Každá z těchto komponent hraje klíčovou roli v celkové funkčnosti systému a přispívá k jeho cíli podporovat kvalitní spánek uživatele.

3.2 Interakce mezi komponentami



Obrázek 3.1: Interakce mezi komponentami, vlastní tvorba

3.3 Model strojového učení pro analýzu dat o spánku

Pro stanovení ideální doby spánku byl použit model random forest (metoda náhodných lesů). Náhodné lesy jsou ensemble metoda, která kombinuje více rozhodovacích stromů k vytvoření silnějšího a robustnějšího modelu. Každý strom v "lese" je vytvořen na základě

náhodně vybrané podmnožiny trénovacích dat a náhodně vybraných vstupních proměnných. Když je model použit na předpověď, každý strom v "lese" udělá svou vlastní předpověď a konečná předpověď modelu je průměr předpovědí všech stromů.

3.3.1 Koncept lineární regrese

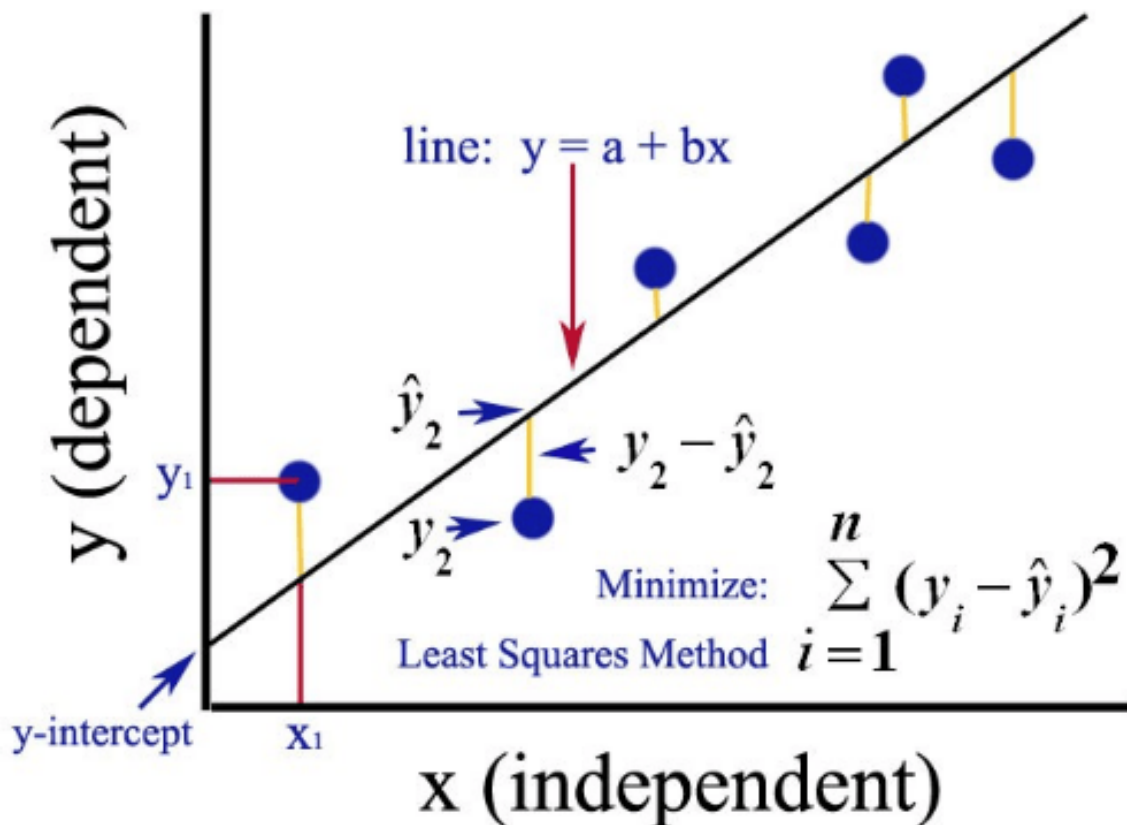
Před formálnějším zadefinováním regresních stromů lze považovat za vhodné, pozastavit se i nad konceptem lineární regrese, ze které regresní stromy principiálně vycházejí. Lineární regresní model můžeme vyjádřit rovnicí, v níž koeficienty beta představují hodnoty, které nejlépe vysvětlují hodnotu vysvětlované proměnné. Pro jednoduchost byla výše použita situace, kdy je v modelu přítomna pouze jedna vysvětlující proměnná. Koeficient β_0 pak představuje tzv. úrovnovou konstantu, člen ϵ náhodnou chybu. Celou regresní rovnici lze zapsat následujícím způsobem.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i \quad (3.1)$$

K získání koeficientů bývá standardně používána tzv. metoda nejmenších čtverců (často označována jako metoda OLS), při které se snažíme minimalizovat kvadratické odchylky predikovaných hodnot od hodnot skutečných. Samozřejmě existují i další metody kromě OLS, kterými se však v rámci této práce nebudeme zabývat.

Vzniklý model pak kromě popisu toho, jak jisté vysvětlující proměnné ovlivňují proměnnou vysvětlovanou, můžeme využít také k předpovědi hodnoty vysvětlované proměnné pro dané vstupní parametry, tedy při predikcích. Tento přístup bývá v praxi využíván v široké škále aplikací.

V našem případě byly pro určení optimální doby spánku v rámci modelu využity následující vysvětlující proměnné, které jsou podrobněji popsány v tabulce níže. Dále je pak uvedena i vysvětlovaná proměnná.



Obrázek 3.2: Princip metody nejmenších čtverců, zdroj:

Graf výše znázorňuje princip metody nejmenších čtverců pro případ lineární regrese s jednou vysvětlující proměnnou. V takovém případě, pokud vysvětlovanou proměnnou označíme na ose Y a vysvětlující na ose X, prokládáme dvojrozměrný prostor přímkou. Přímka je vedena tak, aby byly kvadratické odchylky jednotlivých pozorování od této přímky co nejmenší. Hodnota y-intercept ležící na ose y je rovna hodnotě úrovně konstanty, která byla zmíněna v odstavcích výše.

3.3.2 Regresní stromy

Až doposud byla věnována pozornost základním principům lineární regrese, nyní je však třeba se dostat k metodě použité v rámci práce - k regresnímu stromu. Zatímco lineární regrese je významným nástrojem pro modelování lineárních závislostí, regresní stromy představují flexibilní alternativu pro modelování nelineárních a komplexních vzorců ve datech. Dále se tedy zaměříme na rozšíření možností lineární regrese pomocí regresních stromů, které umožňují efektivněji modelovat situace, kdy lineární předpoklady nejsou splněny, nebo kdy jsou důležité nelineární interakce mezi proměnnými.

Regresní stromy mají několik výhod oproti klasickým lineárním modelům. Jsou schopny zachytit komplexní interakce mezi proměnnými a nemusejí předpokládat lineární vztahy. Dále se vyhýbají některým předpokladům, jako je normalita reziduí.

Konstrukce regresního stromu potom probíhá postupným dělením dat do podskupin (takzvaných uzlů) tak, aby v každém jednotlivém uzlu byla dosažena co možná nejmenší variabilita predikovaných hodnot. Tento proces probíhá následujícím způsobem:

1. **Výběr proměnné a testovacího kritéria:** V každém uzlu je vybrána nejvhodnější nezávislá proměnná a testovací kritérium (např. rozdělení podle hodnoty proměnné). Cílem je maximalizovat homogenitu podskupiny na základě této proměnné.
2. **Rozdělení dat:** Data jsou rozdělena do dvou nebo více podskupin na základě testovacího kritéria. Každá podskupina se stává novým uzlem ve stromu.
3. **Opakování procesu:** Pro každý nový uzel se opakuje proces výběru proměnné a rozdělení dat, dokud nejsou splněny určená zastavovací kritéria, jako je maximální hloubka stromu nebo minimální počet pozorování v rámci uzlu.
4. **Predikce:** Když jsou listy stromu dosaženy, predikční hodnota v každém listu je často určena jako průměr nebo medián hodnot v tomto listu. Tato hodnota je následně použita pro predikci nových dat.

V našem případě byly pro určení optimální doby spánku v rámci modelu využity následující vysvětlující proměnné, které jsou podrobněji popsány v tabulce níže. Dále je pak uvedena i vysvětlovaná proměnná.

Tabulka 3.1: Použité vysvětlující proměnné

Proměnná	Popis proměnné
sleepdur_1	doba spánku jednu noc zpět
sleepdur_2	doba spánku dvě noci zpět
steps	počet kroků aktuální den
steps_1	Počet kroků předchozí den
minutes	Počet minut zvýšené srdeční aktivity
minutes_1	Počet minut zvýšené srdeční aktivity předchozí den
sleep_QD_1	Vypočítaná kvalita spánku jednu noc zpět
sleep_QD_2	Vypočítaná kvalita spánku dvě noci zpátky
nap_len	Celková délka šlofiků
len	Dálka spánku

Tabulka 3.2: Použité vysvětlované proměnné

Proměnná	Popis proměnné
Sleep_QD_1	kvalita spánku

Použití natrénovaného modelu

Natrénovaný model náhodných lesů je použit k určení optimální délky spánku tím způsobem, že pro data aktuálního dne postupně zkouší doplňovat všechny možné délky "len", neboli délky spánku, mezi 2 a 10 hodinami, s rozlišením jedné minuty. Následně vygenerovaná tabulka možných délek spánku a k nim předpovídaného údaje o kvalitě spánku je seřazena podle kvality.

Spodních 95% výsledných dat je odstraněno a zbylé data jsou zprůměrovány. Výsledek je použit jako systémem určená optimální délka spánku uživatele a je podle něj a uživatelem zadaného údaje o plánovaném probuzení určena ideální doba odchodu uživatele ke spánku.

Dvě hodiny před touto dobou je uživatel upozorněn, aby se pro zbytek tohoto dne zdržel namáhavé fyzické aktivity a světla jsou plynule převedena do teplejších barev. Třicet minut před optimální dobou začátku spánku je uživatel opět upozorněn, tentokrát je mu sděleno, že je čas chystat se ke spánku. Celkem tedy tedy uživatel systémem dvakrát upozorněn.

3.4 Strategie řízení světla pro zlepšení spánku

Pokud má být kvalita spánku uživatele maximalizována, je zapotřebí se tohoto cíle v rámci chytré domácnosti snažit dosáhnout i dalšími prostředky a nástroji. Jedním z možných nástrojů, jež má oporu v odborné literatuře, je regulace světla. Lidský organismus pozitivně reaguje na teplejší osvětlení při snaze usnout. Na základě těchto skutečností jsem se tedy rozhodl, že budu regulovat osvětlení v místnosti tak, že v určitý čas před plánovaným ulehnutím ke spánku přejde na teplejší barvu.

Doba, která byla pro regulaci světla stanovena, činí 2 hodiny. Tato doba byla vybrána po úvaze na základě poznatků z odborných zdrojů.

Kapitola 4

Implementace a vyhodnocení

4.1 Sběr a zpracování dat

První pokus o sběr dat byl učiněn s hodinkami Amazfit bip. Takto nasbíraná data se však ukázala nedostatečně kvalitní pro použití v prediktivním modelu, jelikož variabilita a "šum" v těchto datech byly na příliš vysoké úrovni.

Použitá data byla sbírána pomocí chytrých hodinek FitBit Charge 5, které poskytují výrazně přesnější a podrobnější data. Tato data jsou průběžně synchronizována s aplikací FitBit. Následně jsou každý den přesně v 18:00 pomocí aplikace FitToFit Zkopírovány do služby Google Fit.

Samotný systém pak tyto data získává pomocí pravidelného přístupu do Google Fit skrze volání GET requestů. Pro přístup k těmto datům je však potřeba použít autentifikační token. Ten je před každým získáním dat vygenerován pomocí permanentního refresh tokenu uloženého v systému.

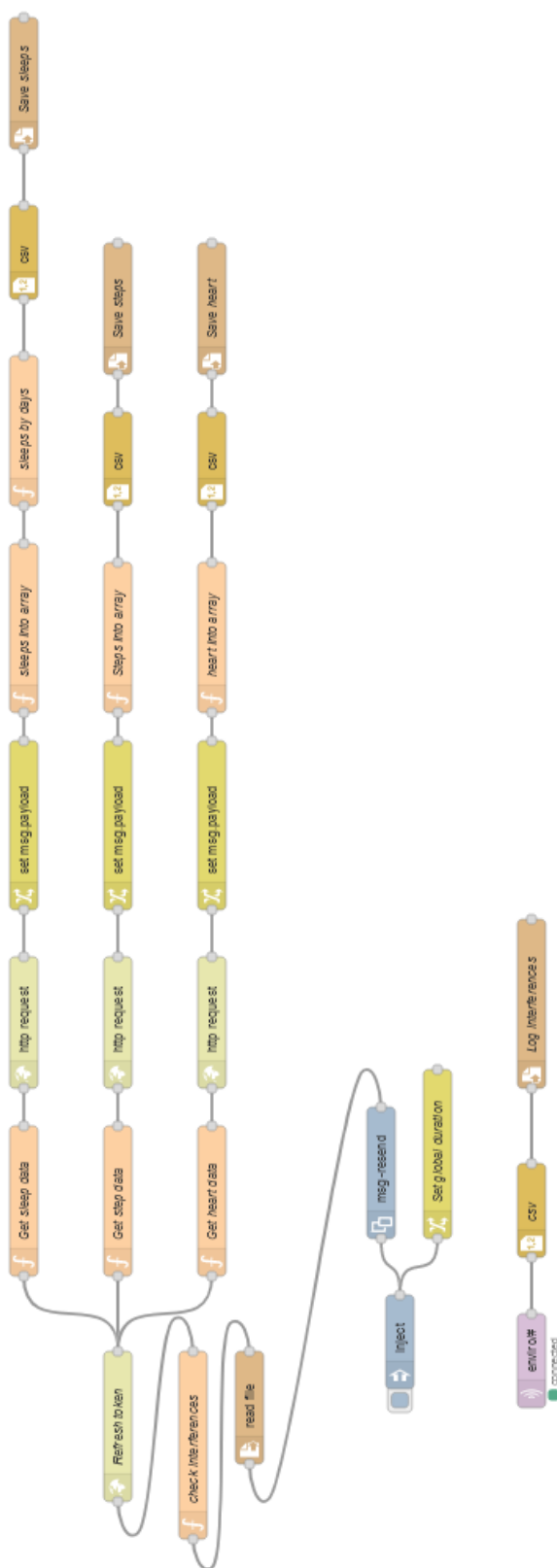
Sbírání dat systémem probíhá každý den v 18:05, tedy krátce poté, co byla data zkopírována na Google Fit. To umožňuje získat i potřebné informace o průběhu aktuálního dne. Tabulka dat je poté rozšířena o nově získaná data. V původním plánu byla všechna data z Google Fit pokaždé získána v celku, což by učinilo celý systém více přemístitelným v případě potřeby. API používané Googlem však neumožňuje získat data za příliš dlouhé období naráz, a tak byla použita metoda průběžného ukládání, a při přesunu nebo kolapsu systému jsou data z minulosti do systému zkopírována manuálně.

Celkově jsou z Google Fit získána data o počtu kroků, které uživatel učinil, počtu minut, po které měl uživatel zvýšený srdeční tep a především spánková data. Ta se však na rozdíl od ostatních před zpracováním nedělí podle dnů, ale podle spánkových instancí, neboli úseků vyznačených počáteční a koncovou milisekundou ohraničující konkrétní typ spánku. Je proto nutno tyto data 'seřadit' do jednotlivých dnů. To bylo vyřešeno pomocí stanovení konkrétního okamžiku, který odděluje jednotlivé dny. Pro potřeby systému byl zvolen čas 12:00, který přirozeně rozděluje den tak, že nezasahuje do běžné doby spánku. Taktéž byly zvoleny časy 21:00 a 12:00, které ohraničují spánek a oddělují jej od případných šlofiků, které jsou oddělené od spánku.

4.2 Implementace systému: Kroky a výzvy

Po potvrzení tématu práce byl můj další krok zajištění sběru dat, na jejichž základě jsem plánoval vyhodnotit účinnost mechanismu v oblasti zvyšování kvality spánku. Po zvážení

Obrázek 4.1: Sběr dat



několika možností jsem jako optimální přístroj pro sběr dat o kvalitě spánku vyhodnotil chytré hodinky FitBit Charge 5. Hlavní výzvou, spojenou s tímto krokem, byla výše zmíněná integrace chytrých hodinek do zvoleného systému Google Fit. Dalším, z technického pohledu nejvýraznějším a nejnáročnějším krokem, bylo vytvoření samotného učícího se systému prostřednictvím zařízení Raspberry Pi 4B s příslušenstvím Raspberry Pi Zero a Enviro+, které jsem si pro potřeby výzkumu obstaral. Na zařízení Raspberry Pi jsem nainstaloval operační systém Home Assistant, který jsem vybral jak pro jeho specializaci v tvorbě chytrých domácností, tak z důvodu toho, že se jedná o software na bázi open-source, a jeho kód je tedy pro všechny veřejně dostupný. Poslední fyzickou komponentou celého systému jsou chytrá světla, která hrají klíčovou roli v ovlivňování spánkového chování, především v regulaci únavy prostřednictvím přepínání mezi modrým a teplým světlem.

Celý systém jsem sestrojil a nastavil ve svém bytě v Brně, kde jsem se postaral o to, aby veškeré umělé světlo pocházelo z chytrých světel zapojených do systému, aby všechny senzory snímaly relevantní, nezkrácené hodnoty a abych okamžitě zaregistroval všechny připomínky, které mi systém ohledně spánkového režimu vysílal. V neposlední řadě jsem po celou dobu trvání výzkumu měl nasazeny chytré hodinky FitBit Charge 5, které byly nejdůležitějším senzorem pro snímání kvality spánku a života obecně.

Primární výzvou, související s tímto krokem, bylo správné nainstalování všech snímačů a zařízení tak, aby nebyly nijak zkreslovány a aby jejich vjemy skutečně odpovídaly tomu, co na spícího člověka na posteli působí, či aby jejich fungování nebylo ničím kompromitováno, například dalšími žárovkami, nenapojenými do systému smart domácnosti, případně nedostatečně výrazným odesíláním připomínek. Postupoval jsem však podle podrobných návodů každého jednotlivého zařízení a po drobných změnách v nastavení a dostatečně dlouhé testovací době jsem se ujistil, že všechny komponenty fungují přesně tak, jak bylo původně zamýšleno.

Jádro systému, ve kterém probíhá veškeré vyhodnocování dat a určování optimální doby spánku, se nachází v mikropočítači Raspberry Pi 4B. V tom probíhá několik procesů, které jsou zodpovědné za vyhodnocení spánkové kvality a strojového učení celého systému, vedoucího k výběru optimální doby spánku.

Proces, který systém každý den aplikuje, aby zjistil optimální čas pro usnutí, vypadá následovně: Systém využívá několika nasbíraných proměnných, aby vypočetl optimální délku spánku odpovídající nejlepší možné kvalitě za pevně stanoveného času probuzení, jeho denním úkolem je tedy určit přesný čas, kdy by uživatel měl usnout. K tomu potřebuje znát vypočítanou kvalitu spánku.

Proměnné, které k jejímu vypočítání využívá, jsou následující: Délka trvání minulého a předminulého spánku, počet kroků, které uživatel ušel za současný a předchozí den, počet minut zvýšené srdeční aktivity za současný a předchozí den, počet minut zvýšené srdeční aktivity rovněž za současný a předchozí den a nakonec vypočítanou kvalitu spánku za minulou a předminulou noc.

Za pomoci této vypočítané proměnné pak systém vytváří predikci nad všemi možnými délkami spánku mezi 6 a 8 hodinami a určí z nich tu, která odpovídá nejvyšší kvalitě spánku pro nadcházející noc. Vzhledem k pevně danému času probuzení ji poté odpočítá tak, aby určil konkrétní čas usnutí, kterému přizpůsobí chování zařízení smart domácnosti, jako jsou světla a upozornění.

4.3 Hodnocení funkčnosti systému

Hodnocení sestaveného systému je zcela esenciální část práce, jelikož nám umožňuje posoudit, zda systém funguje podle očekávání a zda přináší požadované výsledky. V této části práce budou rozebrána rizika a jednotlivé testy, jež byly provedeny za účelem evaluace funkčnosti našeho systému.

4.3.1 Rizika

Pokud jde o validaci tohoto systému, hlavním kladným i záporným faktorem v ní je poměrně chudý výzkumný vzorek. Jelikož jsem věnoval veškerý čas a energii technickému provedení projektu, podařilo se mi jej spolehlivě otestovat pouze na sobě samotném. Nejednalo se však o nějaké zanedbané pozorování, systém jsem skutečně otestoval pravidelným používáním této chytré domácnosti a každý den jsem si zapisoval pocitové hodnocení kvality spánku v poměru s předešlým obdobím. Uznávám ale, že zde existuje riziko pozitivního biasu směrem k své vlastní práci či placebo efektu. Musím však zdůraznit, že jsem se aktivně snažil jim vyvarovat a pozorovat případné změny bez jakéhokoliv zaujetí.

Možným omezením výzkumu je také hrozba zabarvení dat osobními spánkovými potřebami a zvyky. Toto omezení je dáno tím, že spánkové vzorce a kvalita spánku se při stejných podmínkách mohou výrazně lišit mezi jednotlivci. To znamená, že to, co funguje pro mě, nemusí nutně fungovat pro ostatní. Toto riziko by bylo možné eliminovat zahrnutím více respondentů.

Nakonec, subjektivní povaha spánkové kvality znamená, jednotlivé instance dat mohou být také ovlivněny proměnnými, které nejsou přímo spojeny se systémem. Mezi tyto proměnné můžeme zařadit stres, stravu nebo nemoci, etc.

4.3.2 Provedené testy systému

Validace sledováním vývoje dat spánku Pozorováním hlavního ukazatele kvality spánku, v této práci označovaného jako SleepQualD ukázalo v průměru lehké zlepšení, které značí, že vyvinutý systém by mohl být funkční. Nicméně je však potřeba zmínit hlavně změnu v datových extrémech, tedy počtu instancí špatných a výborných spánků. Tato změna mohla být způsobena jednak změnou ročního období v průběhu sledování a taky faktem, že při celkovém zlepšení kvality spánku došlo k alespoň částečné eliminaci budování spánkového deficitu a tím se předešlo potřebě tento deficit následně dohánět.

Validace sledováním dat doby usínání Jednou proměnných, u které jsem předpokládal největší změnu, je doba, kterou uživateli při použití systému trvá usnout. Pozoroval jsem, že tento čas se postupně snižoval, což naznačuje, že systém mohl mít pozitivní vliv na můj spánek. Tento jev se také pozorovatelně dostavil už během prvního týdne provozu finální verze systému, což napovídá, že systém splňuje svoji hlavní funkci, tedy umožnit přirozené budování ospalosti před plánovanou dobou spánku.

Validace dlouhodobým subjektivním hodnocením

Po zprovoznění systému jsem si začal denně zapisovat osobní subjektivní hodnocení spánku. Pro tyto účely jsem použil škálu 1 - 5, kde 1 představuje nejlepší a 5 nejhorší spánek. Pokud mě napadlo nějaké specifické hodnocení, tento údaj jsem si poznačil. Z takto zaznamenaných dat se zdá, že subjektivně vnímaná kvalita spánku se dlouhodobě zlepšila, nicméně tento efekt se plně projevil ne dříve, než po měsíci provozu finální verze systému. Tuto skutečnost

si vysvětlují neurčitostí subjektivních dat a také tím, že si moje tělo muselo postupně na systémem udávaný režim zvykat.

4.3.3 Vyhodnocení provedených testů

Přesto, že možnosti provedení testů byly omezené, jejich výsledek podle všeho napovídá, že systém alespoň částečně funguje. Zlepšilo se jak moje subjektivní hodnocení spánku, tak naměřené a z nich vypočítané hodnoty.

Musíme si však pořád uvědomit, že pro plnou validaci systému by bylo potřeba další testování na širší skupině jedinců a nejspíše také za pomoci nákladného nemocničních zařízení.

4.3.4 Dopad na kvalitu spánku

Dopad systému na kvalitu spánku nebyl nijak extrémní, nicméně byl na první pohled znatelný a již po několika dnech bylo zřejmé, že projekt plní svůj původně zamýšlený účel. Za zásadní funkci celého systému považuji fakt, že dokáže člověku nejen poradit a upozornit jej, ale díky integraci s chytrými světly jej i podvědomě motivovat ke spánku v konkrétní vypočtený čas, nebo mu spánek alespoň umožnit.

Před začátkem experimentu jsem, tak jako mnoho jiných lidí, neměl přehled o míře dopadu modrého světla na problémy spojené se spánkem a usínáním. Díky automatizované regulaci teploty světla jsem tuto problematiku pocítil na vlastní kůži, aniž bych musel každý den přemýšlet, kdy a jaké světlo mám v domácnosti nastavit, což je něco, co jistě přinese velké zvýšení kvality spánku i všem dalším lidem, kteří se do budoucna pokusí můj výzkum replikovat či na něj přímo navázat.

Nutno dodat, že samotná přítomnost chytrých hodinek dokáže lidem přinést do života zásadní poznatky o jejich fyzickém a zdravotním stavu, včetně údajů týkajících se spánku. Tím, že jsem se ale data, která o nás zařízení stejně sbírají, rozhodl zasadit do komplexního, chytrého a stále se učícího systému, se mi podařilo využít tento poměrně jednoduchý nástroj na maximum a udělat z něj skutečnou součást chytré domácnosti.

Obecně tedy hodnotím dopad na kvalitu spánku jakožto pozitivní oproti výchozímu stavu.

Kapitola 5

Závěr

Za poslední rok sledování dat, která se týkala mého spánkového režimu, a okolností, které jej ovlivňovaly v soužití s chytrou domácností na základě zařízení Raspberry Pi 4B a dalších, výše popsaných zařízení, jsem se dopracoval k následujícím výsledkům:

Po nastavení požadovaného času probuzení zařízení Raspberry Pi 4B s platformou Home Assistant vyhodnotilo jednak optimální čas pro nastavení teplejšího světla na chytrých světlech, které narozdíl od modrého světla nepotlačuje tvorbu melatoninu, a jednak ideální čas pro zahájení dalšího spánkového cyklu s ohledem na požadovaný čas probuzení v následujícím dni. Výsledný čas pro usnutí zařízení určovalo výpočtem celkového počtu spánkových minut, tedy doby mezi usnutím a probuzením, která je optimální pro nejlepší možnou kvalitu spánku. Zařízení Raspberry Pi Zero a Enviro+ pak sloužily ke kontrole rušivých elementů ve spánkovém prostředí a eliminaci jimi zkreslených dat.

Co se týče následků fungování chytré domácnosti na kvalitu spánku, přístroj navzdory své jednoduchosti přinesl, ač mírné, zvýšení pocitové kvality jak spánku, tak i následující bdělosti a celkové kvality života. Nejsilnější změnu oproti kontrolnímu období před zahájením experimentu jsem pocítil v oblasti usínání, díky automatické regulaci modrého světla jsem usínal mnohem rychleji než bez ní a neobjevovaly se u mne problémy s nespavostí. Užitečnou byla i signalizace optimálního času pro usnutí, která mi posílala upozornění v přesně vymezeném intervalu před časem značícím začátek celkového počtu spánkových minut, který mi přístroj vypočítal vzhledem k zadanému požadovanému času probuzení.

Je však potřeba zmínit i úskalí provázeného experimentu, mezi něž se řadí primárně nižší reliabilita výsledků, vzhledem k tomu, že byl výzkum prováděn pouze na jednom respondentovi, a tomu, že jeho výsledky byly měřeny sice na ustálené stupnici, ale byly vyhodnocovány pocitově. Toto úskalí je však z velké části dáno povahou této výzkumné oblasti, protože není v mých podmínkách možné objektivně změřit množství jako vyspanost, únava či dobrá, případně špatná nálada.

Navzdory výše uvedeným úskalím věřím, že výzkum byl proveden zodpovědně a s jeho výsledkem jsem spokojen, nejen proto, že přinesl praktickou a hmatatelnou změnu do mého každodenního života prostřednictvím zlepšení kvality spánku.

5.1 Důsledky studie

Studie přichází v čase zvýšené společenské pozornosti, věnované kvalitě spánku. Někteří lidé se dnes pokoušejí regulovat kvalitu svého spánku skrze ne vždy zcela reliabilní nástroje, jakými jsou například některé volně stažitelné mobilní aplikace, a tento výzkum může ně-

kterým z nich pomoci ve vytvoření stále velmi dostupného, ale mnohem přesnějšího a spolehlivějšího systému. Využívá moderních technologií, které jsou však snadno dosažitelné i pro běžného uživatele, proto nebude náročné pro následující výzkumy v této oblasti ji replikovat a integrovat do ní další data a proměnné, které ji mohou rozšířit či prohloubit její výsledek. Velmi vhodná může být také pro širokou komunitu uživatelů zařízení Raspberry Pi, kteří v ní mohou vidět další inspiraci pro využití tohoto všestranného nástroje, stejně jako možné spojení mezi jejich oblíbeným zařízením a oblastí kvality spánku, která může být mezi informatiky a programátory značně problematickou a zanedbávanou součástí života, nejen kvůli výše zmíněnému modrému světlu, produkovanému obrazovkami počítačů a mobilních zařízení. Svou studii však vnímám především jako odrazový můstek, který poskytne mně i druhým příležitost provádět další výzkum v této velmi potřebné oblasti, převážně díky využití dostupných technologií.

5.2 Budoucí práce

Problematicke zlepšování kvality spánku a následné kvality života prostřednictvím výpočetních technologií se plánují věnovat i nadále, protože se jedná o životně důležité odvětví s velkou přidanou hodnotou a pozitivním dopadem na svět, a zároveň jde o oblast poskytující mnoho příležitostí jak výzkumných, tak i pracovních, s velkým využitím jak ve veřejném, tak v soukromém sektoru.

Ve svém následujícím výzkumu bych se rád zaměřil na sledování kvality spánku na širším výzkumném vzorku za využití stejných snadno dostupných nástrojů, které mi umožnily vytvořit tuto studii. Mechanismus, který jsem pro účely této práce sestrojil, lze za použití výše vypsanych zařízení replikovat, což by v mé nadcházející práci umožnilo přinést stabilnější a více reliabilní výsledky. Alternativní cestou pro zvětšení výzkumného vzorku by mohlo být také využití již vytvořené chytré domácnosti a jejím testování na několika různých výzkumných subjektech, které by v ní po vyměřený čas pobývaly. Tím by se dalo z velké části předejít i odchylkám ve výzkumu způsobeným možnými odlišnostmi v individuálních chytrých domácnostech, vycházejícími z různých se specifik každého obytného prostoru.

Mimo otázky výzkumného vzorku bych v budoucnu rád zapojil i větší množství chytrých nástrojů, které by se zařízením Raspberry Pi s platformou Home Assistant mohly interagovat, buď jakožto senzory, pozorující jednotlivé aspekty spánku, okolního prostředí či jiných aspektů života, nebo jako nástroje přímo ovlivňující podmínky při spánku či bdělosti. Rád bych ale navzdory širšímu spektru nástrojů i v budoucnu zachoval jednoduchost a stabilitu původního systému, obsahujícího pouze zařízení Raspberry Pi s potřebným příslušenstvím, algoritmus pro určení kvality spánku, model strojového učení random forest a základní vybavení chytré domácnosti.

Literatura

- [1] ALEXANDER J. SCOTT, M. M.-S. J. G. R. S. W. Improving sleep quality leads to better mental health: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Sleep Med Rev.* 2021. DOI: 10.1016/j.smrv.2021.101556. Dostupné z: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8651630/?fbclid=IwAR0cdQ_snIJp-DqDTQR01StUuyBs6z8RuMtl5Bv1b76cOG0Q1j24FPRjVNs.
- [2] ARORA, A., CHAKRABORTY, P. a BHATIA, M. P. S. Analysis of Data from Wearable Sensors for Sleep Quality Estimation and Prediction Using Deep Learning. *Arabian Journal for Science and Engineering.* 2020, sv. 45, č. 12, s. 10793–10812. DOI: 10.1007/s13369-020-04877-w. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04877-w>.
- [3] BALLO, P. *Home Assistant.* 2021. Accessed: 2023-07-10. Dostupné z: <https://www.home-assistant.io/>.
- [4] BARON, K. G., DUFFECY, J., BERENDSEN, M. A., CHEUNG MASON, I., LATTIE, E. G. et al. Feeling validated yet? A scoping review of the use of consumer-targeted wearable and mobile technology to measure and improve sleep. *Sleep Medicine Reviews.* 2016, sv. 40. DOI: 10.1016/j.smrv.2017.12.002. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1087079217300744>.
- [5] BASNER, M. Effects of noise on sleep. In: Leden 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-822963-7.00201-2. ISBN 9780128093245.
- [6] BENJAMIN K. SOVACOOOL A, D. D. F. D. R. Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2020, sv. 120. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109663. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119308688>.
- [7] BESEDOVSKY, L., LANGE, T. a BORN, J. Sleep and immune function. *Pflügers Archiv-European Journal of Physiology.* Springer. 2012, sv. 463, č. 1, s. 121–137. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00424-011-1044-0>.
- [8] BLANCO CENTURION, C., LUO, S., SPERGEL, D., VIDAL ORTIZ, A., OPRISAN, S. et al. Dynamic Network Activation of Hypothalamic MCH Neurons in REM Sleep and Exploratory Behavior. *The Journal of Neuroscience.* 2019, sv. 39, č. 25, s. 4986–4996. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0305-19.2019. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0305-19.2019>.
- [9] BRAINARD, G. C., HANIFIN, J. P., GREESON, J. M., BYRNE, B., GLICKMAN, G. et al. Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian

- photoreceptor. *Journal of Neuroscience*. 2001, sv. 21, č. 16, s. 6405–6412. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001. Dostupné z: <https://www.jneurosci.org/content/21/16/6405>.
- [10] BURKHART, K. a PHELPS, J. R. The impact of light from computer monitors on melatonin levels in college students. *Neuro Endocrinol Lett*. 2010, sv. 31, č. 2, s. 1–4. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21552190/>.
- [11] CAPPuccio, F. P., COOPER, D., D’ELIA, L., STRAZZULLO, P. a MILLER, M. A. Sleep duration predicts cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *European heart journal*. Oxford University Press. 2010, sv. 32, č. 12, s. 1484–1492. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr007>.
- [12] CHANG, A.-M., AESCHBACH, D., DUFFY, J. F. a CZEISLER, C. A. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2015. DOI: 10.1073/pnas.1418490112. Dostupné z: <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>.
- [13] CHO, Y., RYU, S., LEE, B., KIM, K. H., LEE, E. et al. Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment. *Chronobiology International*. 2019, sv. 36, č. 9, s. 1234–1270. DOI: 10.3109/07420528.2015.1073158. Dostupné z: <https://doi.org/10.3109/07420528.2015.1073158>.
- [14] COOK, J. D., PRAIRIE, M. L. a PLANTE, D. T. Utility of the Fitbit Flex to Evaluate Sleep in Major Depressive Disorder: A comparison against polysomnography and wrist-worn actigraphy. *Journal of Affective Disorders*. 2017, sv. 217, s. 299–305. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jad.2017.04.030>.
- [15] DIEKELMANN, S. a BORN, J. The memory function of sleep. *Nature Reviews Neuroscience*. Nature Publishing Group. 2010, sv. 11, č. 2, s. 114–126. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nrn2762>.
- [16] DUFFY, J. F. a WRIGHT JR, K. P. Entrainment of the human circadian system by light. *Journal of biological rhythms*. 2005, sv. 20, č. 4, s. 326–338. DOI: 10.1177/0748730405277983. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748730405277983>.
- [17] DUKING, P., HOTH, A., HOLMBERG, H. C., FUSS, F. K. a SPERLICH, B. Comparison of non-invasive individual monitoring of the training and health of athletes with commercially available wearable technologies. *Frontiers in Physiology*. 2016, sv. 7, s. 71. DOI: 10.3389/fphys.2016.00071. Dostupné z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2016.00071/full>.
- [18] FINAN, P. H., GOODIN, B. R. a SMITH, M. T. The association of sleep and pain: An update and a path forward. *The Journal of Pain*. Elsevier. 2013, sv. 14, č. 12, s. 1539–1552. DOI: 10.1016/j.jpain.2013.08.007. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2013.08.007>.
- [19] GOOLEY, J. J., CHAMBERLAIN, K., SMITH, K. A., KHALSA, S. B. S., RAJARATNAM, S. M. et al. Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans. *Journal of Clinical Endocrinology &*

- Metabolism*. 2010, sv. 96, č. 3, s. E463–E472. DOI: 10.1210/jc.2010-2098. Dostupné z: <https://academic.oup.com/jcem/article/96/3/E463/2597236>.
- [20] HALSON, S. L., PEAKE, J. M. a SULLIVAN, J. P. Wearable technology for athletes: information overload and pseudoscience? *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016, sv. 11, č. 6, s. 705–706. DOI: 10.1123/ijsp.2016-0207. Dostupné z: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/11/6/article-p705.xml>.
- [21] HAMET, P. a TREMBLAY, J. Genetics and genomics of sleep disorders, relevance to psychiatry. *American Journal of Medical Genetics Part B: Neuropsychiatric Genetics*. 2006, sv. 141, č. 7, s. 645–658. DOI: 10.1002/ajmg.b.30330. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ajmg.b.30330>.
- [22] HARASZTI, R. , ELLA, K., GYÖNGYÖSI, N., ROENNEBERG, T. a KÁLDI, K. Night Shift Work: A Risk Factor for Breast Cancer. *Endocrine Journal*. 2014, sv. 61, č. 5, s. 449–460. DOI: 10.1507/endocrj.EJ13-0568. Dostupné z: <https://joi.jlc.jst.go.jp/JST.JSTAGE/endocrj/EJ13-0568?from=CrossRef>.
- [23] HUBALEK, S., BRINK, M. a SCHIERZ, C. Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood. *Lighting Research Technology*. SAGE Publications Sage UK: London, England. 2010, sv. 42, č. 1, s. 33–50. DOI: 10.1177/1477153509355632. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1177/1477153509355632>.
- [24] KANTERMANN, T., DUBOUTAY, F., HAUBRUGE, D., KERKHOFS, M., SCHMIDT TRUCKSÄSS, A. et al. Atherosclerotic risk and social jetlag in rotating shift-workers: first evidence from a pilot study. *Work*. 2013, sv. 46, č. 3, s. 273–282. DOI: 10.3233/WOR-121553. Dostupné z: <https://content.iospress.com/articles/work/wor121553>.
- [25] KAREN ROSE, L. C. The internet of things: An overview. *The internet society (ISOC)*. 2015, sv. 80. Dostupné z: https://dlwqtxts1xzle7.cloudfront.net/48790442/ISOC-IoT-Overview-20151014_0-libre.pdf?1473746977=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DThe_Internet_of_Things_An_Overview_Under.pdf&Expires=1691416918&Signature=ExcQ9Jmpe~thiuJ1xBVizroS1CYEjVsoV1ZfzLJmGISbCwncAx5YrzBjpsPbIJB9W26Ijz-02wigLoEJ1oiQtadbEP6FF7WWRii0bu0sM717vMekCZ42uEDyn44gSHBXqsDRt5g00V~zu7QZAKHD-FKgHlnolB8tyQ4p6SbJql0o8ropPWTOLP312Te8-QwxTLOGJ6qlpTBcyNi9Srg-y0bx1fkj1oQ3vSBA25eLcZP9UdeoEsakIkrfxniofJD1oTqKkb58pBXgyrCQT7ZI7KL2xzmYL11zYbUqvH87wJD8JRz-MDMIxcUyeIxYvKY5U-g_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA.
- [26] KOOPMAN, A. D., RAUH, S. P., RIET, E. van 't, GROENEVELD, L., HEIJDEN, A. A. van der et al. The association between social jetlag, the metabolic syndrome, and type 2 diabetes mellitus in the general population: the New Hoorn study. *Journal of Biological Rhythms*. 2017, sv. 32, č. 4, s. 359–368. DOI: 10.1177/0748730417713572. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748730417713572>.
- [27] LARCHER, S., BENHAMOU, P. Y., PÉPIN, J. L. a BOREL, A. L. Sleep habits and diabetes. *Diabetes & metabolism*. 2016, sv. 42, č. 5, s. 338–350. DOI: 10.1016/j.diabet.2016.04.009. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1262363616300755>.

- [28] LEVANDOVSKI, R., DANTAS, G., FERNANDES, L. C., CAUMO, W., TORRES, I. et al. Depression scores associate with chronotype and social jetlag in a rural population. *Chronobiology International*. 2011, sv. 28, č. 9, s. 771–778. DOI: 10.3109/07420528.2011.602445. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/07420528.2011.602445>.
- [29] MANTUA, J., GRAVEL, N. a SPENCER, R. M. C. Reliability of Sleep Measures from Four Personal Health Monitoring Devices Compared to Research-Based Actigraphy and Polysomnography. *Sensors*. 2016, sv. 16, č. 5, s. 646. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/s16050646>.
- [30] MOTA, M. C., WATERHOUSE, J., DE SOUZA, D. A., ROSSATO, L. T., SILVA, C. M. et al. Social jetlag and metabolic control in non-communicable chronic diseases: a study addressing different obesity statuses. *Scientific Reports*. 2017, sv. 7, č. 1. DOI: 10.1038/s41598-017-09888-0. Dostupné z: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-09888-0>.
- [31] NUTRIENTS. The Effect of Physical Activity on Sleep Quality: An Updated Review. MDPI AG. 2022. DOI: 10.3390/nu14091912. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/nu14091912>.
- [32] O'LEARY, N., BLACKSTOCK, M. a LEA, R. *Node-RED*. 2021. Accessed: 2023-07-10. Dostupné z: <https://nodered.org/>.
- [33] PALAGINI, L., BRUNO, R. M., GEMIGNANI, A., BAGLIONI, C., GHIADONI, L. et al. Sleep loss and hypertension: a systematic review. *Current pharmaceutical design*. Bentham Science Publishers. 2013, sv. 19, č. 13, s. 2409–2419. DOI: 10.2174/1381612811319130009. Dostupné z: <https://doi.org/10.2174/1381612811319130009>.
- [34] PIWEK, L., ELLIS, D. A., ANDREWS, S. a JOINSON, A. The rise of consumer health wearables: promises and barriers. *PLoS Medicine*. 2016, sv. 13, č. 2, s. e1001953. DOI: 10.1371/journal.pmed.1001953. Dostupné z: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1001953>.
- [35] ROENNEBERG, T., WIRZ JUSTICE, A. a MERROW, M. Life between clocks: daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of biological rhythms*. 2007, sv. 18, č. 1, s. 80–90. DOI: 10.1177/0748730402239679. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748730402239679>.
- [36] RUTTERS, F., NIJPELS, G., ELDERS, P., STEHOUWER, C. D., HEIJDEN, A. A. van der et al. The association between BMI and different frailty domains: a U-shaped curve? *Journal of Nutrition, Health & Aging*. 2014, sv. 18, č. 10, s. 890–897. DOI: 10.1007/s12603-014-0531-2. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12603-014-0531-2>.
- [37] SANTHI, N., THORNE, H. C., VEEN, D. R. van der, JOHNSEN, S., MILLS, S. L. et al. The spectral composition of evening light and individual differences in the suppression of melatonin and delay of sleep in humans. *Journal of Pineal Research*. 2012, sv. 53, č. 1, s. 47–59. DOI: 10.1111/j.1600-079X.2011.00970.x. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-079X.2011.00970.x>.

- [38] SAWKA, M. N. a FRIEDL, K. E. Emerging wearable physiological monitoring technologies and decision aids for health and performance. *Journal of Applied Physiology*. 2018, sv. 125, č. 2, s. 437–448. DOI: 10.1152/jappphysiol.00181.2018. Dostupné z: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.00181.2018>.
- [39] SEGU, A. a KANNAN, N. N. The duration of caffeine treatment plays an essential role in its effect on sleep and circadian rhythm. *Sleep Advances*. Oxford University Press. 2022. DOI: 10.1093/sleepadvances/zpad014. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1093/sleepadvances/zpad014>.
- [40] SHRIRANG MARE, F. R. T. K. Consumer Smart Homes: Where We Are and Where We Need to Go. *The 20th International Workshop on Mobile Computing Systems and Applications (HotMobile '19)*. 2019. DOI: 10.1145/3301293.3302371. Dostupné z: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3301293.3302371>.
- [41] ST HILAIRE, M. A., GOOLEY, J. J., KHALSA, S. B. S., KRONAUER, R. E., CZEISLER, C. A. et al. Human phase response curve to a 1 h pulse of bright white light. *Journal of Physiology*. 2012, sv. 590, č. 13, s. 3035–3045. DOI: 10.1113/jphysiol.2012.227892. Dostupné z: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/jphysiol.2012.227892>.
- [42] ST ONGE, M.-P., MIKIC, A. a PIETROLUNGO, C. E. Effects of Diet on Sleep Quality. *Advances in Nutrition*. Oxford University Press. 2016, sv. 7, č. 5, s. 938–949. DOI: 10.3945/an.116.012336. Dostupné z: <https://doi.org/10.3945/an.116.012336>.
- [43] SYMON, A., DEIGHTON, C., DEIGHTON, K. a SYMON, F. Global prevalence of symptoms in kidney disease: a systematic review and meta-analysis. *PLoS Medicine*. Public Library of Science. 2023, sv. 19, č. 4, s. e1003954. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1003954>.
- [44] WEST, K. E., JABLONSKI, M. R., WARFIELD, B., CECIL, K. S., JAMES, M. et al. Blue light from light-emitting diodes elicits a dose-dependent suppression of melatonin in humans. *Journal of Applied Physiology*. 2011, sv. 110, č. 3, s. 619–626. DOI: 10.1152/jappphysiol.01413.2009. Dostupné z: <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.01413.2009>.
- [45] WITTMANN, M., DINICH, J., MERROW, M. a ROENNEBERG, T. Social jetlag and chronotype: late chronotypes are more socially jetlagged. *Journal of biological rhythms*. 2006, sv. 21, č. 1, s. 35–46. DOI: 10.1177/0748730405283153. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0748730405283153>.
- [46] WONG, P. M., MANUCK, S. B., DINARDO, M. M., KORYTKOWSKI, M. a MULDOON, M. F. The association between global sleep score and inflammatory markers in sedentary men and women. *Sleep Medicine*. 2015, sv. 16, č. 5, s. 684–688. DOI: 10.1016/j.sleep.2015.01.021. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389945715000891>.
- [47] WRIGHT, K. P., DRAKE, A. L., FREY, D. J., FLESHNER, M., DESOUZA, C. A. et al. Influence of sleep deprivation and circadian misalignment on cortisol, inflammatory markers, and cytokine balance. *Brain, behavior, and immunity*. 2009, sv. 23, č. 5,

s. 685–694. DOI: 10.1016/j.bbi.2009.02.011. Dostupné z:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0889159109000754>.

- [48] ZAMBOTTI, M. de, BAKER, F. C. a COLRAIN, I. M. Validation of Sleep-Tracking Technology Compared with Polysomnography in Adolescents. *Sleep*. Zář 2015, sv. 38, č. 9, s. 1461–1468. DOI: 10.5665/sleep.4990. ISSN 0161-8105. Dostupné z:
<https://doi.org/10.5665/sleep.4990>.
- [49] ZEITZER, J. M., DIJK, D. J., KRONAUER, R. E., BROWN, E. N. a CZEISLER, C. A. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *Journal of Physiology*. 2000, sv. 526, č. 3, s. 695–702. DOI: 10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x. Dostupné z:
<https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1469-7793.2000.00695.x>.