

MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY



Požívateľské rozhranie pre ovládanie inteligentného skleníka

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Bc. Svetlana Markosová

Brno, jar 2018

MASARYKOVA UNIVERZITA
FAKULTA INFORMATIKY



Požívateľské rozhranie pre ovládanie inteligentného skleníka

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Bc. Svetlana Markosová

Brno, jar 2018

Na tomto mieste sa v tlačenej práci nachádza oficiálne podpísané zadanie práce a prehlásenie autora školského diela.

Prehlásenie

Prehlasujem, že táto diplomová práca je mojím pôvodným autorským dielom, ktoré som vypracovala samostatne. Všetky zdroje, pramene a literatúru, ktoré som pri vypracovaní používala alebo z nich čerpala, v práci riadne citujem s uvedením úplného odkazu na príslušný zdroj.

Bc. Svetlana Markosová

Vedúci práce: prof. Ing. Jiří Sochor, CSc.

Podakovanie

Ďakujem prof. Ing. Jiřímu Sochorovi, CSc. za odborné vedenie diplomovej práce a profesionálny prístup, Mgr. Lukášovi Pevnému za konzultácie a rady ohľadom grafickej časti práce a dobrovoľníkom za ich aktívnu účasť pri testovaní použiteľnosti.

Zhrnutie

Táto práca sa zaobrá návrhom používateľského rozhrania pre ovládanie inteligentného skleníka.

V teoretickej časti práca ponúka stručný prehľad skleníkovej teórie so zameraním na možnosti automatizácie, ďalej definuje inteligentný skleník ako taký, vymedzuje funkcie takéhoto skleníka a definuje spôsoby, akými ho možno ovládať.

V praktickej časti potom pristupuje k samotnému návrhu používateľského rozhrania, pričom je návrh zameraný na používateľa za účelom dosiahnutia dobrej miery použiteľnosti. Výsledkom praktickej časti je interaktívny prototyp s podrobne vypracovaným subsystémom, ktorý používateľa informuje o stave skleníka a umožňuje mu ovládať zariadenia pre reguláciu kvality vzduchu a pôdy v skleníku.

Kľúčové slová

použiteľnosť, používateľské rozhranie, návrh zameraný na používateľa, skica, drôtený model, prototyp, inteligentný skleník, usability, UI, GUI, UCD, UX, sketch, wireframe, prototype, smart greenhouse

Obsah

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Inteligentný skleník | 3 |
| 2.1 | <i>Skleník a jeho účel</i> | 3 |
| 2.1.1 | Skleníky dnes | 3 |
| 2.1.2 | Ako funguje skleník | 4 |
| 2.1.3 | Základná regulácia podmienok v skleníku | 4 |
| 2.2 | <i>Čo je inteligentný skleník</i> | 7 |
| 2.3 | <i>Funkcie intelligentného skleníka</i> | 9 |
| 2.3.1 | Ovládanie zariadení | 9 |
| 2.3.2 | Nastavenia systému | 11 |
| 2.3.3 | Informovanie používateľa | 12 |
| 2.4 | <i>Hlavné komponenty intelligentného skleníka</i> | 12 |
| 2.5 | <i>Riadiace systémy</i> | 14 |
| 2.5.1 | Komerčné riešenia | 14 |
| 2.5.2 | Open-source riešenia | 15 |
| 2.6 | <i>Spôsoby ovládania a ovládacie prvky</i> | 16 |
| 2.6.1 | Lokálny prístup | 16 |
| 2.6.2 | Vzdialený prístup | 18 |
| 2.6.3 | Menej používané prístupy | 19 |
| 3 | Návrh používateľského rozhrania | 21 |
| 3.1 | <i>Prieskum používateľov a ich preferencií</i> | 21 |
| 3.2 | <i>Požiadavky na systém</i> | 24 |
| 3.2.1 | Používateelia systému | 24 |
| 3.2.2 | Model skleníka | 25 |
| 3.2.3 | Ovládacie zariadenie a spôsob ovládania | 26 |
| 3.2.4 | Rozsah návrhu | 26 |
| 3.2.5 | Úlohy používateľského rozhrania | 26 |
| 3.3 | <i>Skica</i> | 27 |
| 3.3.1 | Prehľad stavu | 28 |
| 3.3.2 | Ovládanie zariadení | 29 |
| 3.3.3 | Aktuálne hodnoty | 30 |
| 3.4 | <i>Drôtený model</i> | 31 |
| 3.4.1 | Volba softwaru | 31 |

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 3.4.2 | Informačná architektúra | 32 |
| 3.4.3 | Tvorba drôteného modelu | 32 |
| 3.4.4 | Úlohy pre testovanie drôteného modelu | 33 |
| 3.4.5 | Príprava a priebeh testu | 35 |
| 3.4.6 | Výsledky testu | 36 |
| 3.5 | <i>Prototyp</i> | 37 |
| 3.5.1 | Zmeny oproti drôtenému modelu | 37 |
| 3.5.2 | Rozloženie prvkov | 38 |
| 3.5.3 | Farebná schéma | 39 |
| 3.5.4 | Písmo | 40 |
| 3.5.5 | Logo aplikácie | 41 |
| 3.5.6 | Piktogramy | 42 |
| 3.5.7 | Prezentácia nameraných hodnôt | 45 |
| 3.5.8 | Úlohy pre testovanie prototypu | 45 |
| 3.5.9 | Príprava a priebeh testu | 46 |
| 3.5.10 | Výsledky testu | 47 |
| 3.6 | <i>Lokálny ovládací panel</i> | 48 |
| 4 | Záver | 49 |
| Zdroje | | 51 |
| A | Obrazová príloha | 53 |
| B | Obsah elektronickej prílohy | 63 |

Zoznam obrázkov

- 2.1 Modulárny skleník 4
- 2.2 Skleníkový efekt 5
- 2.3 Komponenty inteligentného skleníka 13
- 2.4 Ovládací panel so spínačmi a procesný počítač 17
- 2.5 Dotykový panel a tlačidlá s LCD displejom 18
- 3.1 Dotaník: dôležitosť informácií o stave skleníka 22
- 3.2 Dotazník: dôležitosť funkcií skleníka 23
- 3.3 Skica: prehľad stavu skleníka 28
- 3.4 Skica: ovládanie zariadení skleníka 29
- 3.5 Skica: aktuálne hodnoty v skleníku 30
- 3.6 Drôtený model: prehľad stavu skleníka 34
- 3.7 Layout a mriežka prototypu 39
- 3.8 Farby prototypu 40
- 3.9 Logo aplikácie 41
- 3.10 Logotyp 42
- 3.11 Štruktúra piktogramu 43
- 3.12 Séria piktogramov 44
- 3.13 Prezentácia hodnôt 45

1 Úvod

Téma návrhu používateľských rozhraní je mi blízka a venovala som sa jej už v bakalárskej práci, kde som hodnotila použiteľnosť existujúceho systému a navrhovala som alternatívne rozhranie s lepšou použiteľnosťou. Podobným smerom som sa chcela vybrať aj v diplomovej práci, ale tentoraz som chcela navrhovať používateľské rozhranie pre úplne nový systém. Preto ma zaujímali skôr technológie, ktoré sa medzi laických používateľov zatial príliš nedostali. Všimla som si, že téma inteligentných domov je v súčasnosti veľmi populárna, ale o inteligentných automatizovaných skleníkoch určených pre nekomerčné účely som toľko materiálov nenašla.

Automatizované skleníky v komerčnej sfére nie sú v súčasnosti žiadnou výnimocnou záležitosťou. Na záhrade u bežného používateľa však takýto skleník nájdeme len ľahko. Súdiac podľa množstva svojpomocných projektov založených na open-source technológiách, ktoré som našla online (často aj s návodom), záujem o túto oblasť by aj bol. Preto sa v tejto práci sústredím práve na malé a stredne veľké skleníky, ktoré sú určené pre domácu výrobu.

V prvom rade je potrebné zoznámiť sa so základmi skleníkovej teórie, z ktorej vyplývajú požiadavky kladené na skleník. Na základe toho je potom možné určiť funkcie inteligentného skleníka a následne navrhnúť používateľské rozhranie pre ich ovládanie.

Práca sa delí na teoretickú a praktickú časť. Teóriou návrhu používateľských rozhraní sa v tejto práci nezaoberám, pretože som ju pokryla už v bakalárskej práci. Na nej som stavala počas realizácie praktickej časti.

V teoretickej časti práce sa venujem definícii skleníka, jeho účelu a dnešnej podobe. Vysvetlujem princíp fungovania skleníka a skúmam podmienky, ktoré by skleník mal vytvoriť a udržiavať pre pestované rastliny. Tiež sa venujem základom regulácie podmienok a zariadeniam, ktoré sú pre tento účel dostupné. Zvyšok teoretickej časti sa zaoberá inteligentnými skleníkmi. Po definícii inteligentného skleníka a predstavení spôsobu jeho činnosti určujem na základe predošej časti práce funkcie, ktoré by takýto skleník mal poskytovať. Ďalej skúmam dostupné spôsoby a zariadenia určené pre ovládanie inteligentných skleníkov.

1. Úvod

Praktická časť práce sa zaobrá samotným návrhom používateľského rozhrania pre ovládanie inteligentného skleníka. V prvom rade zisťujem, kto sú potenciálni používatelia a aké sú ich predstavy a požiadavky pre inteligentný skleník. Ďalej definujem požiadavky kladené na systém, ktorým sa skleník ovláda – identifikujem triedy používateľov, definujem spôsob ovládania a rozsah návrhu. Následne pristupujem k samotnému návrhu, ktorý je iteratívny. Začína skicami, ktoré sú prevedené na drôtený model, z ktorého nakoniec vznikne funkčný prototyp. V každej fáze prechádza návrh určitým spôsobom testovania alebo validácie, ktoré overuje použiteľnosť návrhu.

2 Inteligentný skleník

V tejto časti práce sa venujem teórii skleníkov. Najskôr stručne zhrniem, čo je skleník, aká je jeho dnešná podoba a na akom princípe funguje. Ďalej charakterizujem podmienky, ktoré treba v skleníku zabezpečiť a spôsoby, ktorými to možno dosiahnuť najmä pomocou automatizácie.

Vo zvyšku tejto kapitoly sa už venujem takzvaným inteligentným skleníkom. Po krátkej definícii určím jeho funkcie, preskúmam spôsob jeho fungovania a možnosti, akými sa takýto skleník dá ovládať.

2.1 Skleník a jeho účel

Skleník je budova vyrobená z materiálu prepúšťajúceho svetlo a teplo, tradične skla, v ktorej sa pestujú rôzne druhy rastlín. Hlavnou úlohou moderného skleníka je chrániť rastliny a poskytovať im optimálne klimatické podmienky pre rast.

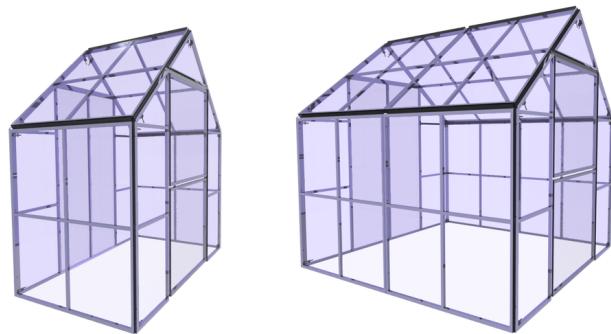
2.1.1 Skleníky dnes

Dnešné skleníky nie sú nutne vyrobené zo skla. Okrem skla je najčastejšie používaným materiálom dvojvrstvový polyetylén. Voľný priestor medzi dvoma vrstvami pritom slúži ako tepelná izolácia. Nevýhodou polyetylénu je menšia prieplustnosť svetla (75 až 80 percent). Nosná konštrukcia skleníkov sa najčastejšie vyrába z hliníka, prípadne z po-zinkovej ocele alebo kombinácie hliníka a ocele. [1]

Zaujímavou záležitosťou sú modulárne skleníky, ktorých konštrukcia je zameraná na možnosť neskoršieho rozšírenia (obrázok 2.1), zmenšenia alebo dokonca zmeny rozloženia skleníka. Okrem špeciálne navrhutej konštrukcie modularitu umožňuje spôsob ukotvenia. To musí byť schopné odolať nárazom vetra. Preto je potrebné brať do úvahy aj typ pôdy, do ktorej sa skleník ukotví. Tá určuje dĺžku kotiev, ktorou sú najčastejšie skrutky.

Ani skleníky sa nevyhli technologickému pokroku. Mechanizácia a automatizácia prenikli najmä do polnohospodárstva, ale čoraz viac sa začínajú používať aj pri domácom pestovaní. Takýmito skleníkmi sa zaoberá podkapitola 2.2.

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK



Obr. 2.1: Vľavo základný modulárny skleník, vpravo po rozšírení.
Zdroj: <http://www.modulargreenhouses.com/>.

2.1.2 Ako funguje skleník

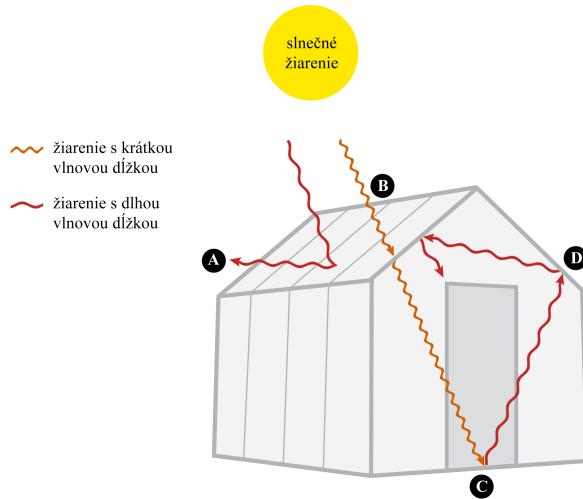
Základným princípom skleníkov je využitie tepla získaného zo slnka. Slnečné žiarenie, ktoré dosiahne až na zemský povrch, sa skladá z troch častí: ultrafialové (UV), viditeľné a infračervené (IR). UV žiarenie využívajú rastliny pri zafarbovaní kvetov a dozrievaní plodov [2], IR žiarenie je hlavným činiteľom pri zohrievaní rastlín a zeme.

Pretože je skleník vyrobený z priesvitného materiálu, slnečné žiarenie s krátkou vlnovou dĺžkou môže preniknúť dovnútra. Zem a rastliny v skleníku časť žiarenia odrazia a časť pohltia. Pohltené žiarenie, najmä IR, uvedie molekuly do pohybu, čím vzniká energia spôsobujúca zvýšenie teploty. Takto zohriata zem a rastliny potom sami začnú vyžarovať žiarenie s dlhou vlnovou dĺžkou, ktoré zo skleníka nedokáže uniknúť a hromadí sa v ňom teplo. Tento jav sa nazýva skleníkový efekt (obrázok 2.2). [2, 3]

2.1.3 Základná regulácia podmienok v skleníku

Požiadavky, ktoré sa kladú na skleník, vychádzajú zo základných potrieb pre rast a vývin pestovaných rastlín. Vyplýva to zo spôsobu výživy rastlín, autotrofie, pri ktorej si rastliny samy vytvárajú organické látky potrebné pre rast. Základnými požiadavkami sú pritom teplo, svetlo, voda a oxid uhličitý. Úspešný skleník dokáže rastlinám tieto požiadavky poskytnúť tým, že správne reguluje podmienky vovnútri.

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK



Obr. 2.2: Skleníkový efekt: (A) Žiarenie s dlhou vlnovou dĺžkou sa odráža. (B) Slnečné žiarenie s krátkou vlnovou dĺžkou preniká do skleníka. (C) Slnečné žiarenie s krátkou vlnovou dĺžkou je pohltene a opäť sa vyžaruje ako žiarenie s dlhou vlnovou dĺžkou. (D) Žiarenie s dlhou vlnovou dĺžkou sa odráža od vnútorného povrchu a ostáva v skleníku. Zdroj: [3], upravené.

Táto sekcia sumarizuje činnosti, ktoré sa v skleníkoch najčastejšie vykonávajú pre zabezpečenie optimálnych podmienok s prihliadnutím na možnosti automatizácie.

Zavlažovanie

Pretože rastliny v skleníku nedokážu získať vodu prirodzeným spôsobom z dažďa, zavlažovanie je najčastejšou aktivitou skleníkového pestovania. Voda, ktorú rastlinám dodávame, však musí splňať určité kritériá. Teplota vody by mala byť rovnaká, ako teplota pôdy; pH vody zase ovplyvňuje pH pôdy, čo určuje rozpustnosť živín v pôde. [2]

Z automatických závlah sú najčastejšie používané kvapkové závlahy. Tie sa skladajú z hadíc s otvormi, cez ktoré postupne odkvapkáva voda. Hadice sú pripojené k zdroju vody, kde je možné riadiť čas spusťenia a dĺžku zavlažovania. [2]

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

Ďalšou možnosťou je použitie postrekovačov, ktoré zavlažujú spôsobom podobným prírodnému dažďu. Takýto systém však môže poškodiť menej odolné rastliny a okrem toho sa ľahšie šíria choroby rastlín. Postrekovače by preto mali byť čo najbližšie k zemi a vodu by mali „rozprášovať“. [4]

Vetranie

Vetraním sa ochladzuje vzduch v skleníku, vyrovňáva sa pomer oxidu uhličitého a kyslíka a znižuje sa vlhkosť vzduchu. Najčastejšie je vetranie zabezpečené strešnými, prípadne bočnými oknami skleníka, pričom najefektívnejšia je ich kombinácia. V prípade, že vetranie oknami neposkytuje dostatočne intenzívnu výmenu vzduchu, používajú sa ventilátory. [2].

Najlepšie možnosti automatizácie poskytujú okná s motorovým pohonom, ktoré sa automaticky otvárajú podľa teploty vzduchu alebo iných nameraných parametrov (napríklad aj podľa rýchlosťi a smeru vetra). Dokonca sa v prípade dažďa sami zatvárajú. Jeho najväčšia nevýhoda spočíva vo vysokej obstarávacej cene. O niečo lacnejšou možnosťou sú okná s hydraulickým pohonom (hydraulické valce s piestovou tyčou spojenou s oknom pomocou kľuba). Ich nevýhodou je, že dokážu reagovať iba na teplotu. [5]

Teplota vzduchu

V prípade, že slnko nedokáže skleník vyhriať dostatočne, je potrebné dodatočné vykurovanie, ktoré zabezpečia vykurovacie jednotky. V malých skleníkoch sa uplatnia lokálne vyhrievače, vo väčších skleníkoch sa používa teplovzdušné vykurovanie pomocou ohrevacích jednotiek s ventilátorom. [2, 5]

Ak je teplota vzduchu naopak vyššia, než je pre rastliny žiadúce, máme niekoľko možností: otvorenie okien, spustenie ventilátorov alebo chladiacich jednotiek. Opäť sú dostupné mobilné ochladzovače pre malé a klimatizácie pre väčšie skleníky. [2]

Najúčinnejšou, ale najnákladnejšou metódou regulácie teploty je kombinované zariadenie s jednotkami ohrevu aj chladenia, kde stačí nastaviť cielovú teplotu vzduchu a termostat ju sám udržiava.

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

Vlhkosť vzduchu

Pri vysokej vlhkosti vzduchu sa z rastliny neodparuje dostatok vody, pri nízkej zase príliš veľa [2]. Vlhkosť vzduchu sa reguluje teplotou vzduchu a vetraním, alternatívne sa môže použiť odvlhčovač alebo zvlhčovač vzduchu. Existujú aj kombinované zariadenia.

Tienenie

Tienenie sa používa za účelom zníženia teploty v skleníku alebo ako ochrana pre rastliny, ktorým veľa svetla škodí [2]. Automatizovať môžeme rolety alebo žalúzie, ktoré sa dajú zaťahovať želaným smerom.

Technologicky vyspelejšou možnosťou sú inteligentné sklá. Tie dokážu meniť svoje mechanické alebo elektromechanické vlastnosti a tak zmeniť svoju schopnosť prepúštať svetlo. Podľa množstva privedeného elektrického prúdu sklo mení svoje zafarbenie. Úroveň zafarbenia možno plynule regulať manuálne aj automaticky podľa intenzity slnečného žiarenia. [6]

Umelé osvetlenie

Ak je množstvo svetla získané zo slnečného žiarenia nedostatočné, treba rastlinám poskytnúť náhradný zdroj svetla. Dĺžka a intenzita žiarenia umelého osvetlenia by mali závisieť od množstva svetla získaného zo slnečného žiarenia.

Živiny v pôde

Doplnenie živín v pôde je možné pomocou minerálnych hnojív. Najdôležitejšími prvkami sú pri tom dusík, fosfor a draslík (používa sa pre ne skratka NPK). Zvyčajne sa používajú vo vode rozpustné zmesi, ktoré sa aplikujú so zavlažovacou vodou.

2.2 Čo je inteligentný skleník

Pre človeka je takmer nemožné pochopiť a ovládať systémy s viac než dvoma závislými procesmi bez akejkoľvek pomoci. Napríklad otvorenie okna skleníka za účelom zníženia vlhkosti vzduchu bude

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

mať vplyv tiež na teplotu a množstvo oxidu uhličitého vo vzduchu, čo si vyžaduje dodatočné opatrenia. Automatické riadiace systémy sa snažia tieto opatrenia zabezpečiť, čo umožňuje udržať v skleníku optimálny stav pre pestovanie rastlín. [7]

Inteligentný skleník je teda taký skleník, ktorý využíva pre svoj chod automatizáciu. Oproti mechanizácii, ktorá nahradza fyzickú silu, sa automatizované systémy snažia čo najlepšie simulať ľudské premyšľanie a zmysly. [6] V knihe *Inside the Smart Home* ([8]) rozdelila Frances K. Aldrich mieru inteligencie domu do piatich stupňov. Podobne sa dá odstupňovať miera inteligencie skleníka.

1. Obsahuje inteligentné zariadenia – skleník obsahuje inteligentne fungujúce zariadenia, ktoré pracujú nezávisle na sebe.
2. Obsahuje inteligentné a komunikujúce zariadenia – skleník obsahuje intelligentne fungujúce zariadenia, ktoré navzájom komunikujú za účelom zdokonalenia svojej činnosti.
3. Prepojený skleník – skleník disponuje vnútornými a vonkajšími komunikačnými sieťami. Tie umožňujú interaktívne ovládanie systému lokálne zo skleníka a vzdialene mimo skleníka.
4. Učiaci sa skleník – zaznamenáva aktivitu v skleníku, v zhromaždených informáciach hľadá vzory. Na základe toho sa snaží predvídať potreby rastlín a podľa nich riadi technológie.
5. Pozorný skleník – neustále sleduje stav rastlín a prostredia v skleníku a činností prebiehajúcich v skleníku. Informácie vyhodnocuje v reálnom čase a podľa nich riadi technológie.

Pre efektívnu reguláciu podmienok v skleníku musia všetky funkcie navzájom spolupracovať. Zapnutie jedného zariadenia máva dopad na niekoľko parametrov naraz (niektoré závislosti sú spomenuté v sekcii 2.1.3). Sledovanie všetkých závislostí, ktoré by systém musel brať do úvahy, je veľmi náročné. Preto sú v súčasnosti bežne dostupné iba automatizované skleníky s malým množstvom sledovaných parametrov a zariadení. Pre zložitejšie skleníky sú technológie na úrovni 1 až 3 a úrovniám 4 a 5 sa venujú výskumné projekty [6].

2.3 Funkcie inteligentného skleníka

V tejto časti práce zhrniem funkcie, ktoré by mohol inteligentný skleník poskytovať. Jednotlivé funkcie skleníkov sa líšia v závislosti od podnebia daného miesta. V niektorých častiach sveta napríklad nie je vôbec potrebné dodatočné vykurovanie, kým v iných je potrebné celoročne. Aj preto je pri inteligentných skleníkoch dôležitá modularita. Používateľ si sám vyberie, ktoré funkcie má skleník obsahovať.

Táto podkapitola sa bude snažiť pokryť čo najviac funkcií, ktoré by mohol inteligentný skleník poskytovať, takže v akomkoľvek podnebí z nich stačí vybrať vhodnú podmnožinu. Funkcie rozdelím do troch kategórií podľa ich účelu: ovládanie zariadení v skleníku, funkcie súvisiace s prevádzkou inteligentného systému a informovanie používateľa o stave skleníka.

2.3.1 Ovládanie zariadení

Ako bolo spomenuté v podkapitole 2.2, úplná automatizácia skleníka s mnohými funkciami v súčasnosti nie je vyriešená kvôli veľkému množstvu závislostí. Funkcie som preto doplnila aspoň o čiastočnú automatiku, ktorá je v súčasnosti bežne dostupná. V nasledovnej tabuľke (tabuľka 2.1) sú zhrnuté funkcie aj so s nimi súvisiacimi parametrami.

| Funkcia | Súvisiace parametre |
|---|--|
| otvorenie a zatvorenie okien, plynulé nastavenie pozície okna (nakolko je otvorené), automatické zatvorenie pri dosiahnutí cieľovej hodnoty parametra | teplota vzduchu vlhkosť vzduchu hladina oxidu uhličitého |
| zapnutie a vypnutie ventilátorov, nastavenie stupňa výkonu, automatické vypnutie pri dosiahnutí cieľovej hodnoty parametra | teplota vzduchu vlhkosť vzduchu hladina oxidu uhličitého |
| zapnutie vykurovania/ochladzovania s cieľovou teplotou, automatické vypnutie pri dosiahnutí cieľovej teploty | teplota vzduchu |

(tabuľka pokračuje na ďalšej strane)

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

| | |
|---|--|
| zapnutie zvlhčovača/odvlhčovača vzduchu s cieľovou vlhkosťou vzduchu, automatické vypnutie pri dosiahnutí cieľovej vlhkosti | vlhkosť vzduchu |
| zapnutie dávkovača oxidu uhličitého s cieľovou hladinou CO ₂ , automatické vypnutie pri dosiahnutí cieľovej hladiny | hladina oxidu uhličitého |
| plynulé vytiahnutie a zatiahnutie žalúzií, nastavenie sklonu lišt | množstvo svetla intenzita sl. žiarenia |
| zapnutie a vypnutie umelého osvetlenia, plynulé nastavenie intenzity svietidiel | množstvo svetla |
| zapnutie a vypnutie zavlažovania, automatické zapnutie v danom čase alebo pri klesnutí vlhkosti na danú hodnotu, automatické vypnutie po danej dobe | vlhkosť pôdy |
| zapnutie vyhrievania pôdy s cieľovou teplotou, automatické vypnutie pri dosiahnutí cieľovej teploty | teplota pôdy |

Tabuľka 2.1: Zoznam funkcií inteligentného skleníka, ktorými možno regulovať podmienky v skleníku.

Ďalej spomieniem niekoľko užitočných automatických funkcií, ktoré sú v súčasnosti dostupné.

- Okná by sa mohli zatvárať automaticky v prípade dažďa. Informácia sa dá získať z vlastnej meteostanice alebo z Internetu.
- Žalúzie by mohli brať do úvahy aj umiestnenie slnka nad obzorom. K tomu je možné použiť vlastnú meteostanicu alebo Internet.
- Hnojenie na základe obsahu živín v pôde. Senzory samozrejme nedokážu urobiť rozbor pôdy, preto sa zvyknú merať len vybrané látky v pôde. Najčastejšie sú to dusík, fosfor a draslík. Ak

niektorá látka klesne pod danú hodnotu, hnojivo sa v správnom množstve rozpustí v zavlažovacej vode.

- Úprava pH pôdy. Pre odbúranie kyslosti sa používa vápnik a aplikuje sa podobne ako hnojivo. Pre zvýšenie kyslosti sa pôda pokrýva vrstvou rašelin; tento proces býva automatizovaný v poľnohospodárstve, v malých skleníkoch nie.
- Automatické nastavenie rozmedzí optimálnych hodnôt na základe pestovaných druhov rastlín. Systém by obsahoval databázu optimálnych podmienok pre jednotlivé druhy rastlín; používateľ by zadal, aké druhy pestuje v skleníku a systém by vyhodnotil optimálne podmienky.

2.3.2 Nastavenia systému

Prvotná konfigurácia systému býva nastavená technikom, ktorý systém inštaluje. Ten musí poznať požiadavky používateľa. V prípade, že sa jeho požiadavky zmenia, musí mať používateľ možnosť ich premietnuť do systému aj sám. V tejto sekcii zhrniem používateľovi dostupné funkcie, vďaka ktorým si môže fungovanie inteligentného skleníka prispôsobiť.

- Úprava optimálneho rozmedzia pre každú meranú veličinu.
- Pomenovanie oblastí skleníka.
- Nastavenie teploty vody pre zavlažovanie.
- Voľba režimu skleníka (viac v podkapitole 2.4).
- Možnosť nakonfigurovať vlastný režim a vytvoriť tak vlastný súbor pravidiel.
- Voľba spôsobu, akým má byť používateľ informovaný o zistených nedostatkoch v skleníku, vrátane toho, pri akých nedostatkoch má byť informovaný (predchádzanie zahľtenia správami).
- Nastavenie práv skupinám používateľov.
- Nastavenie hesiel pre chránené časti systému.
- Voľba jednotky teploty (stupne Celzia alebo Fahrenheita).

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

2.3.3 Informovanie používateľa

V tejto sekcii uvádzam funkcie, ktoré nesúvisia s reguláciou podnebia skleníka. Aby mohol používateľ efektívne ovládať zariadenia skleníka, potrebuje poznáť jeho stav. Okrem toho vymenúvam ďalšie užitočné funkcie.

- Prehľad aktuálne nameraných hodnôt v skleníku spolu s informáciou, či je hodnota v optimálnom rozmedzí.
- Prehľad stavu zariadení (napr. či je zapnuté osvetlenie a s akou intenzitou).
- Upozornenie používateľa vopred zvoleným spôsobom v momente, keď sa zistí neoptimálna hodnota alebo sa identifikuje iná chyba.
- Návrhy riešení pre každý zistený problém.
- Priamy prenos obrazu z kamery.
- Zaznamenávanie obrazu z kamery po dobu aspoň 30 dní a export záznamu z vybraného časového úseku.
- Prístup k starému záznamu s časovou osou udalostí (udalosťou môže byť napríklad zaznamenanie pohybu v skleníku).
- Štatistiky, história nameraných hodnôt a vykonalých akcií.
- Informácia o aktuálne zvolenom režime skleníka.

2.4 Hlavné komponenty inteligentného skleníka

Inteligentný skleník tvorí niekoľko komponentov:

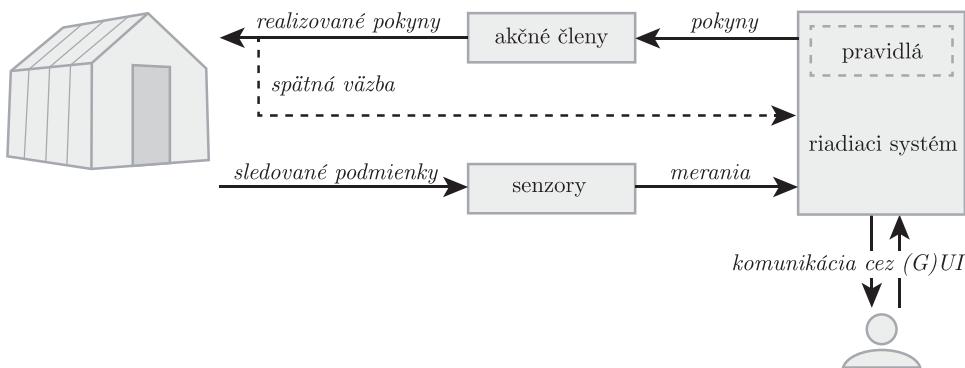
- senzory (tiež snímače alebo receptory), ktoré merajú dané fyzikálne veličiny (teplota, vlhkosť apod.),
- akčné členy (tiež aktuátory), ktoré sú zodpovedné za vykonanie akcií v skleníku (otvorenie okna, zapnutie zavlažovania apod.).

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

- riadiaci systém so súborom pravidiel, ktorý je „mozgom“ inteligentného skleníka; súbor pravidiel sa tiež označuje ako režim, režimov môže byť viac a skleník pracuje vždy podľa jedného z nich,
- používateľské rozhranie, cez ktoré používateľ komunikuje s riadiacim systémom,
- samotný skleník.

Informácie potrebné pre riadenie inteligentného skleníka sa získajú pomocou senzorov. Senzor odošle namerané hodnoty riadiacemu systému, ktorý ich aktualizuje a vyhodnotí podľa pravidiel. Na základe výsledku ďalej vykoná dané činnosti, ktorými môže byť buď informovanie používateľa o chybe (napríklad hodnota mimo optimu), alebo rovno odoslanie pokynu akčnému členovi.

V momente, keď riadiaci systém dostane podnet pre odoslanie pokynu akčnému členovi (či už cez pravidlá alebo priamo od používateľa), odošle pokyny akčnému členovi, ktorý vykoná danú akciu a riadiacemu systému pošle spätnú väzbu.



Obr. 2.3: Schéma komunikácie medzi prvkami inteligentného skleníka a s používateľom

Napríklad senzor teploty vzduchu nameria hodnotu 21°C a odošle ju riadiacemu systému. Ten teplotu vzduchu uloží a v súbore pravidiel zistí, že pri teplote vzduchu 21°C sa má zapnúť vykurovanie a okná sa majú zavrieť. Túto inštrukciu pošle akčným členom zodpovedným

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

za vykurovanie a zatváranie okien. V skleníku sa zapne vykurovacia jednotka a všetky otvorené okná sa zatvoria. Táto zmena stavu sa oznámi riadiacemu systému, ktorý aktualizuje stav zariadení.

Na obrázku 2.3 je znázornený reťazec komunikácie medzi vyššie spomenutými komponentami. Schéma obsahuje aj používateľa, ktorý s riadiacim systémom komunikuje prostredníctvom používateľského rozhrania.

V nasledujúcej podkapitole 2.5 je uvedených niekoľko riadiacich systémov, v podkapitole 2.6 zase spôsoby, akými používateľ môže komunikovať s riadiacim systémom.

2.5 Riadiace systémy

Všetky zariadenia inteligentného skleníka sú pripojené k riadiacemu systému, ktorý je zodpovedný za reguláciu prostredia na základe prijatých informácií alebo podnetov. Pre malé a stredné skleníky býva týmto systémom programovateľný logický automat (PLC, z angl. *programmable logic controller*). PLC boli navrhnuté pre riešenie komplexných úloh v automatizácii. Do priemyselnej aplikácie boli nasadené, pretože disponujú určitými vlastnosťami. Najdôležitejšou je flexibilita, a to ako hardwarová, tak softwarová. PLC sú navrhnuté modulárne a umožňujú ľahko a rýchlo meniť program. [9]

2.5.1 Komerčné riešenia

Tecomat Foxtrot¹

Tecomat Foxtrot, vyrábaný českou firmou Teco a. s., je kompaktný PLC určený pre malé a stredne veľké projekty. Poskytuje výkonnú procesorovú jednotku a modularitu hardwaru. Systém je tak možné v prípade potreby rozšíriť perifériami. Dodatočnú pamäť zabezpečuje slot pre pamäťovú kartu. Foxtrot tiež disponuje 100Mb Ethernetom, dvoma komunikačnými kanálmi a špeciálnou zbernicou, vďaka ktorej sa k riadiacemu systému dajú pripojiť ďalšie inteligentné elektroinstalačné prvky aj iných výrobcov. Tieto sa dajú dokonca pripojiť aj bezdrôtovo systémom RFox.

1. <https://www.tecomat.cz/>

SIMATIC²

Spoločnosť Siemens vyrába niekoľko PLC rady SIMATIC podľa komplexnosti požiadaviek. Podľa výrobcu každý riadiaci systém poskytuje dobrú škálovateľnosť a flexibilitu pre automatizačné riešenia. Ďalej sú v nich integrované diagnostické a bezpečnostné prvky. Ďalšie parametre závisia od zvoleného modelu, ktorých ponuka by mala vyhovovať projektom akýchkoľvek rozmerov.

Allen-Bradley³

Allen-Bradley je značka popredného výrobcu zariadení pre priemyselnú automatizáciu v severnej Amerike, Rockwell Automation. Považujú sa za „lídra v inováciách a kvalite viac ako 110 rokov“. Vyrábajú PLC pre malé a stredné projekty, ponúkajú modely štandardné alebo s bezpečnostným certifikátom. Okrem toho slúbujú vysoký výkon, flexibilitu a kvalitu.

2.5.2 Open-source riešenia

V rámci prieskumu existujúcich inteligentných skleníkov som zistila, že mnoho technicky zdatných nadšencov si programuje vlastný riadiaci systém pre malé skleníky. Najčastejšie pri tom využívajú Arduino a Raspberry Pi.

Arduino⁴

Arduino je jednočipový počítač, ktorý vznikol v talianskom inštitúte *Interaction Design Institute Ivrea*. Pôvodne bol určený na rýchle prototypovanie pre študentov, ale rozšíril sa aj mimo inštitúciu a dnes je dostupných viac modelov pre rôzne účely. Každý model vrátane softwaru je open-source a komunita okolo Arduina je veľmi živá. Riadiaci systém sa používa pre malé skleníky.

-
2. <https://www.siemens.com/>
 3. <http://ab.rockwellautomation.com/>
 4. <https://www.arduino.cc/>

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

Raspberry Pi⁵

Raspberry Pi je jednodoskový počítač bežiaci na Linuxe, ktorého tretia generácia bola uvedená na trh vo februári 2016. Oproti predošlým modelom má zabudovanú WiFi a Bluetooth. Okrem iného disponuje štvorjadrovým 64bitovým procesorom s frekvenciou 1,2 GHz, 1GB operačnou pamäťou a slotom pre pamäťovú kartu.

Oficiálna stránka Raspberry Pi obsahuje mnoho návodov k projektom a komunita tiež prispieva vlastnými projektami, medzi inými aj systémami pre ovládanie skleníka alebo vivária.

2.6 Spôsoby ovládania a ovládacie prvky

Aj keby bol skleník plne automatizovaný, každé jeho zariadenie musí byť ovládateľné tiež používateľom. Spôsoby ovládania možno rozdeliť podľa prístupu na lokálne a vzdialené.

2.6.1 Lokálny prístup

Tlačidlá a spínače

Úplne základné možnosti ponúkajú klasické tlačidlá a spínače. Tie bývajú zoskupené na ovládacom paneli (obrázok 2.4, vľavo), kde je pri nich slovne popísaná ich funkcia. Stav zariadenia je zvyčajne vyjádený LED svetielkom – ak je niečo zapnuté, svetlo svieti. Výhodou je, že každý vie, ako sa s tlačidlami a spínačmi narába a dokáže to aj technicky menej zdatní používateľa. Nevýhodou je neprehľadnosť, najmä pri väčšom množstve funkcií. Navyše funkcialita tlačidiel a spínačov je obmedzená na vopred daný počet polôh (väčšinou dve: zapnuté a vypnuté).

Osobný a procesný počítač

Osobný počítač určený výhradne na ovládanie a monitorovanie skleníka dokáže naraz zobraziť väčšie množstvo informácií a tiež poskytuje najväčšiu výpočtovú silu. Preto bývajú osobné počítače priamo aj

5. <https://www.raspberrypi.org/>

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK

riadiacim systémom. Takéto zariadenia sa nazývajú procesné počítače a sú v nepretržitej prevádzke. Informácie sa zvyknú zobrazovať na dvoch monitoroch, pričom jeden je určený na monitorovanie stavu a druhý na ovládanie zariadení (obrázok 2.4, vpravo). Procesné počítače sú určené pre veľké komerčné skleníky.



Obr. 2.4: Vľavo ovládací panel so spínačmi, vpravo monitorovanie a ovládanie skleníka cez procesný počítač. Zdroj:

<https://wadsworthcontrols.com/> a

<https://www.hoogendoorn.nl/cs/>

Dotykový panel

Výhodou dotykových panelov (obrázok 2.5, vľavo) je jednoduché, prehľadné ovládanie za predpokladu dobre navrhnutého používateľského rozhrania. Z vizualizovaných dát sa dá rýchlo zistiť stav skleníka. Hierarchiou systému sa dá zjednodušiť prístup k dôležitým funkciám a menej dôležité vnoriť do hlbšej úrovne. Prístup ku kritickým funkciám sa dá obmedziť vyžiadáním hesla alebo možno vytvoriť každému používateľovi vlastný účet, kde sa mu po prihlásení zobrazujú iba dostupné funkcie.

Tlačidlá s displejom

Tlačidlá a spínače môžu byť doplnené o LCD displej (obrázok 2.5, vpravo). Takéto zariadenie už poskytuje funkcionality prakticky rovnakú ako dotykový panel. Zariadenie obsahuje tlačidlá s priradenými funkciami, väčšinou tými najčastejšie používanými, ďalej tlačidlá určené na ovládanie systému (potvrdiť, späť, dopredu apod.). Používateľ dostáva spätnú väzbu od systému cez displej.

2. INTELIGENTNÝ SKLENÍK



Obr. 2.5: Vľavo dotykový panel chránený ovládacou skrinkou, vpravo tlačidlá a spínače s LCD displejom. Zdroj:

<https://wadsworthcontrols.com/> a <http://www.link4corp.com>

2.6.2 Vzdialený prístup

Pokiaľ sa používateľ nachádza mimo skleníka, má možnosť ho ovládať cez webovú aplikáciu alebo v prípade mobilného zariadenia cez mobilnú aplikáciu. Akýkoľvek vzdialený prístup musí byť veľmi kvalitne zabezpečený, aby sa do systému nedostal nikto cudzí.

Webová aplikácia

Webová aplikácia je prístupná cez webový prehliadač z akéhokoľvek zariadenia pripojeného k Internetu. Práve v tomto spočíva jeho najväčšia výhoda. Zvyčajne je pre vstup do aplikácie vyžadovaná kombinácia mena a hesla. Tá môže byť ešte posilnená náhodne generovaným overovacím kódom, ktorý je používateľovi doručený SMS správou alebo e-mailom. Pri dobrom zabezpečení prístupu môže webová aplikácia poskytovať rovnaké používateľské rozhranie a funkcionality ako lokálny dotykový panel.

Mobilná aplikácia

Mobilná aplikácia je vyvinutá pre konkrétny operačný systém. Očakáva sa použitie na telefóne, ktorý má menší displej. Preto musí byť používateľské rozhranie dobre navrhnuté. Priestor pre vizualizáciu je podstatne menší, treba dbať na veľkosť textu a prvkov rozhrania. Prístup do aplikácie je podobný ako pri webovej aplikácii.

2.6.3 Menej používané prístupy

Ovládanie hlasom je v súčasnosti veľmi aktuálnou témuou. Siri, Alexa, Google Assistant alebo Cortana sú príkladmi inteligentných asistentov ovládaných týmto spôsobom. Spôsob ovládania je u nich veľmi podobný. Systém rozoznáva sadu príkazov, pred ktorými je potrebné vysloviť špeciálne slovo (toto slúži ako oslovenie systému). Tiež je možné systému položiť otázku a on odpovie podľa informácie nájdenej na Internete.

Ďalšími možnosťami, ktoré sú vo vývoji, sú ovládanie gestami (systém rozoznáva definované gestá), rozšírená realita (angl. *augmented reality*) alebo nositeľná elektronika (angl. *wearables*).

3 Návrh používateľského rozhrania

V tejto časti práce navrhнем používateľské rozhranie pre ovládanie vybranej časti inteligentného skleníka v stredoeurópskych klimatických podmienkach. Návrh bude zameraný na používateľa (angl. *user-centered design*) a budem sa riadiť základnými princípmi návrhu rozhrania, aby bola použiteľnosť výsledného návrhu čo najlepšia.

3.1 Prieskum používateľov a ich preferencií

Pred tým, než som sa pustila do samotného návrhu rozhrania, som uskutočnila prieskum formou dotazníkového šetrenia. Jeho účelom bolo spoznať návyky a skúsenosti potenciálnych používateľov s pestovaním rastlín a zistiť ich preferencie ohľadom funkcií inteligentného skleníka.

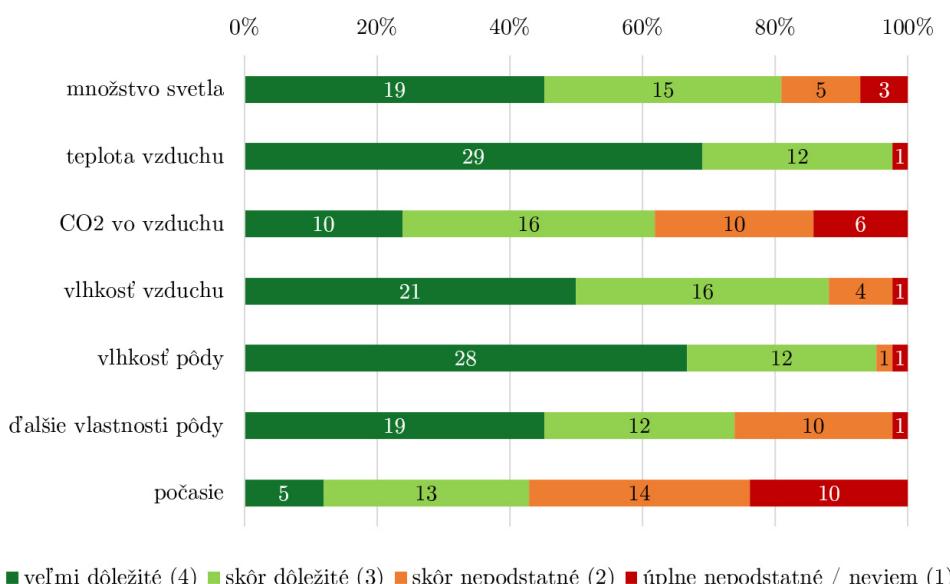
V prvej časti dotazníka som zisťovala vekovú skupinu respondentov, rozsah ich skúseností s pestovaním rastlín spolu s účelom pestovania, či majú skúsenosti s pestovaním v skleníku alebo podobnom regulovanom prostredí a čo si predstavujú pod pojmom inteligentný skleník. Druhá časť dotazníka bola zameraná na funkcie inteligentného skleníka, kde mali respondenti uviesť, nakoľko dôležité by pre nich boli jednotlivé funkcie. Posledná otázka zisťovala, či by respondenti vôbec mali o inteligentný skleník záujem.

Dotazník vyplnilo 42 respondentov, z toho 34 respondentov so skúsenosťami s pestovaním rastlín (ďalej len „pestovatelia“). Najpočetnejšou skupinou boli respondenti vo veku 18 – 29 rokov, druhou najpočetnejšou respondenti vo veku 30 – 49 rokov. Z odpovedí som zistila nasledovné:

- Respondenti, ktorí nemajú záujem o žiadny skleník, buď nie sú pestovatelia alebo nemajú skúsenosti s pestovaním v skleníku.
- Respondenti, ktorí nemajú záujem o inteligentný skleník, sú pestovatelia so skúsenosťami s pestovaním v skleníku a klasický skleník uprednostňujú pred inteligentným.
- Pestovatelia najčastejšie pestujú pre radosť a vlastný úžitok. Najčastejšie sú to okrasné rastliny, ovocie a zelenina.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

- Pestovatelia majú najčastejšie skúsenosti s polievaním, sadením, zastrihávaním, hnojením a postrekovaním (v tomto poradí). S reguláciou podmienok má skúsenosti necelá tretina pestovateľov. Traja respondenti navyše uviedli, že majú skúsenosti so štepením a množením rastlín.
- Takmer polovica pestovateľov má priame skúsenosti s pestovaním v skleníku, viac než tri štvrtiny pestovateľov majú aspoň nepriame skúsenosti (napr. teoretické vedomosti).
- Respondenti si pod inteligentným skleníkom najčastejšie predstavujú automatické funkcie a reguláciu podmienok, hlavne automatické zavlažovanie a reguláciu teploty vzduchu.
- Najčastejšie sú za dôležitú informáciu považované teplota vzduchu a vlhkosť pôdy. Po nich nasledujú vlhkosť vzduchu, ďalšie informácie o pôde (teplota, pH, obsah látok apod.) a množstvo svetla (obrázok 3.1).

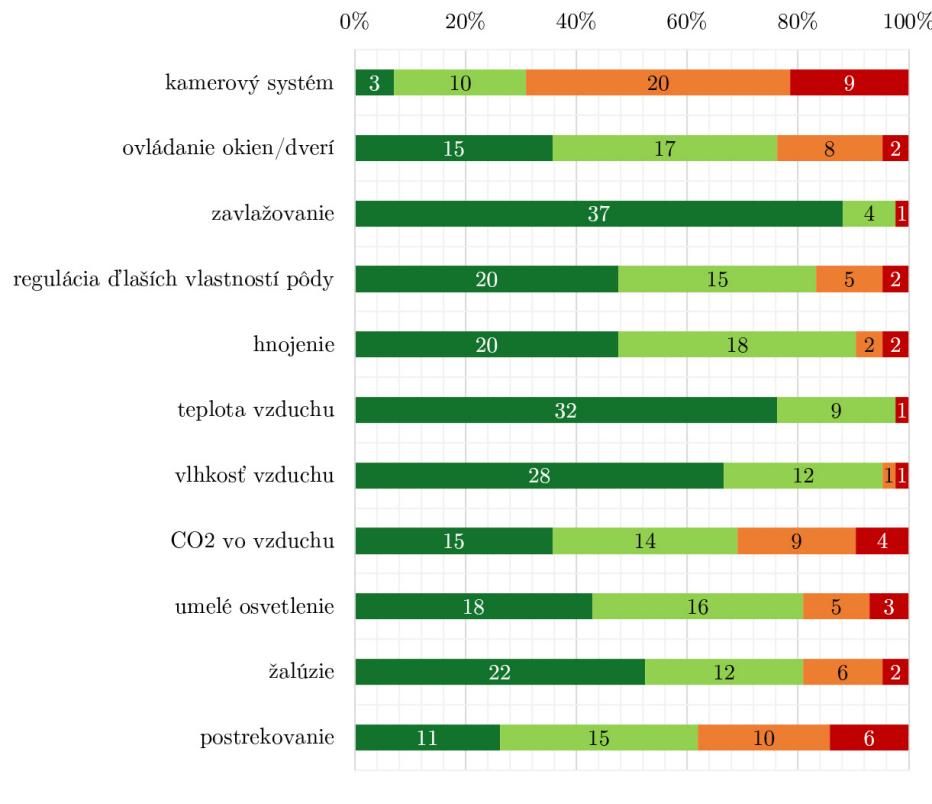


Obr. 3.1: Dôležitosť informácií o stave skleníka podľa respondentov dotazníka.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

- Najčastejšie je za dôležitú funkciu považované automatické zavlažovanie; po nej nasledujú regulácia teploty a vlhkosti vzduchu (obrázok 3.2).

Presné znenie dotazníka s odpoveďami a vyhodnotením je súčasťou elektronickej prílohy práce.



■ veľmi dôležité (4) ■ skôr dôležité (3) ■ skôr nepodstatné (2) ■ úplne nepodstatné / neviem (1)

Obr. 3.2: Dôležitosť funkcií skleníka podľa respondentov dotazníka.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

3.2 Požiadavky na systém

V tejto podkapitole identifikujem skupiny používateľov systému, počas model skleníka, pre ktorý bude používateľské rozhranie navrhnuté, ďalej zvolím časť systému, ktorú podrobne navrhnem a určím jednotlivé funkcie pre používateľské rozhranie.

3.2.1 Používatelia systému

Kedže je môj návrh zameraný na inteligentné skleníky pre nekomerčné účely, používateľmi systému budú obyvatelia domácnosti, ktoréj skleník patrí. Pozorovaním som zistila, že najčastejšie je to jednotlivec alebo páru v rôznom veku (od mladých dospelých po seniorov). Častou skupinou je aj nukleárna rodina, ktorá sa skladá z rodičov a jedného alebo viacerých detí. Menej častou, ale nie zanedbateľnou, je rozšírená rodina žijúca vo viacgeneračnom dome.

Svoje pozorovanie som chcela nejakým spôsobom overiť, a tak som zisťovala zloženie domácností vo všeobecnosti (nezávisle od toho, či vlastnia skleník). Podľa Štatistického úradu Európskych spoločenstiev boli v roku 2016 ako v celej Európskej únii, tak aj v Českej republike a na Slovensku najčastejšími typmi domácností dospelá osoba bez detí, páru bez detí, páru s deťmi a iný typ domácnosti bez detí (v tomto poradí)¹. Toto zloženie domácností približne zodpovedá môjmu pozorovaniu.

Na základe predošlých zistení som určila nasledovné skupiny používateľov:

Administrátor. Člen domácnosti, ktorý je považovaný za vlastníka skleníka. Najčastejšie ovláda systém (lokálne aj vzdialene), takže ho pozná najlepšie. Má prístup ku všetkým funkciám a nastaveniam, vrátane určovania práv ostatných používateľov.

Bežný používateľ. Systém ovláda lokálne alebo vzdialene. Má prístup k štandardným funkciám, ktoré sú potrebné pre prevádzkovanie skleníka. Nemá prístup k nastaveniam systému. Väčšinu problémov dokáže riešiť sám, prípadne po zaškolení *Administrátorom*.

1. zdroj: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Household_composition_statistics

Dieťa. Schopnosti používateľa závisia od veku. V predškolskom veku ovláda systém lokálne, orientuje sa podľa farieb a obrázkov. Môže mať tendenciu skúšať systém spôsobom „všade ťuknem“, často robí chyby. Preto má prístup iba k vybraným funkciám. So zvyšujúcim sa vekom však preberá úlohu *Bežného používateľa* alebo *Administrátora*.

Senior. Predpokladá sa menšia technická zdatnosť, horší zrak a jemná motorika. Často má menej trpezlivosti, pri riešení problémov tak potrebuje pomoc. Má rovnaké práva ako *Bežný používateľ*, takže nemá prístup k nastaveniam systému.

Technický pracovník. Poverená osoba, ktorá pozná systém do najmenších podrobností. Dokáže naprogramovať alebo preprogramovať software, v prípade potreby vie opraviť hardware. Pri zavádzaní systému zaškolí *Administrátora*.

Medzi skupinami používateľov neexistuje žiadna jasne daná hranica a mnohokrát sa môžu prelínati. Napríklad samostatne žijúci senior bude pravdepodobne *Administrátor*.

3.2.2 Model skleníka

Systém bude mať modulárnu štruktúru, ktorá je potrebná z hľadiska podstaty skleníka. Jeho vybavenie a funkcie totiž závisia od podnebia, v ktorom sa nachádza. Aby sa však výsledný návrh čo najviac podobal hotovému produktu, budem ho vytvárať pre skleník s vopred daným počtom oblastí a okien. Vďaka tomu budem vedieť lepšie vizualizovať informácie potrebné pre používateľa.

Počet oblastí zodpovedá najväčšiemu počtu nezávislých okruhov jedného typu zariadenia. V prípade, že niektoré zariadenie operuje na jednom okruhu (má dopad na celý skleník), pribudne ešte jedna spoločná oblasť.

V tejto práci bude mať skleník štyri oblasti s vlastným okruhom pre zavlažovanie a hnojenie. Regulácia teploty a vlhkosti vzduchu budú patriť do spoločnej oblasti. Ďalej bude mať skleník štyri strešné okná. Tento model je vhodný na demonštráciu všetkých úloh používateľského rozhrania riešených v tejto práci, ktoré sú tiež vymenované v oddiele 3.2.5.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

Skleník sa bude nachádzať v manuálnom režime. To znamená, že bude zaznamenávať namerané hodnoty a kontrolovať, či sa nachádzajú v rozmedzí optimálnych hodnôt. Ak sa hodnota dostane mimo optimálneho rozmedzia, používateľ bude na túto skutočnosť v systéme upozornený. V praxi by potom malo byť možné zvolať spomedzi viacerých spôsobov upozornenia, napríklad e-mail, SMS správa alebo notifikácia v prípade mobilnej aplikácie.

3.2.3 Ovládacie zariadenie a spôsob ovládania

Podkapitola 2.6 pojednávala o ovládacích zariadeniach a spôsoboch ovládania inteligentných skleníkov spolu s ich výhodami. Na základe toho som sa rozhodla pre webovú aplikáciu, ktorá je prístupná z rôznych zariadení. Vďaka tomu si používateľ bude môcť vybrať medzi dotykovým ovládaním a ovládaním myšou a klávesnicou. Návrh teda bude prispôsobený obom spôsobom ovládania a budú dodržané všeobecné odporúčania a pravidlá pre návrh oboch typov rozhraní. Pri implementácii aplikácie pre konkrétnu zariadenia a platformy by sa malo rozhranie upraviť podľa daných *Human Interface Guidelines*.

3.2.4 Rozsah návrhu

Na základe preferencií respondentov dotazníka (podkapitola 3.1) som sa rozhodla, že podrobne navrhnu časť systému, ktorá informuje používateľa o stave skleníka a ktorá umožňuje regulovať podmienky vzduchu a pôdy v skleníku. Okrem toho bude návrh doplnený o základné bezpečnostné prvky, konkrétnu autentizáciu používateľa kvôli prístupu ku kritickým funkciám. Úplný zoznam úloh používateľského rozhrania sa nachádza v nasledujúcom oddiele.

3.2.5 Úlohy používateľského rozhrania

Nasledovné úlohy sú dostupné všetkým používateľom. Zoznam úloh obsahuje iba tie, ktoré sú riešené v tejto práci.

- Prehľad stavu skleníka: aktuálny stav skleníka, pričom je jasné, či sa vyskytujú nejaké problémy (hodnoty mimo optima), ďalej systém informuje o možných riešeniach, o stave zariadení a okien (zapnuté, vypnuté alebo otvorené, zatvorené).

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

- Aktuálne hodnoty v jednotlivých oblastiach: teplota vzduchu, vlhkosť vzduchu, obsah oxidu uhličitého vo vzduchu, vlhkosť pôdy, teplota pôdy, množstvo svetla, obsah živín v pôde.
- Regulácia teploty: zapnutie, vypnutie, nastavenie cieľovej teploty vzduchu.
- Regulácia vlhkosti vzduchu: zapnutie, vypnutie, nastavenie cieľovej vlhkosti vzduchu.
- Ovládanie okien: otvorenie a zatvorenie konkrétneho okna, hromadné otvorenie a zatvorenie okien.
- Zavlažovanie: zapnutie a vypnutie konkrétneho zavlažovacieho okruhu, zobrazenie ostávajúceho času do vypnutia, hromadné zapnutie a vypnutie.
- Hnojenie: zapnutie a vypnutie konkrétneho okruhu, zobrazenie ostávajúceho času do vypnutia, hromadné zapnutie a vypnutie.
- Zabezpečenie funkcií: zabránenie prístupu k funkciám, ktoré nie sú dostupné všetkým používateľom – nutné prihlásenie pomocou mena a hesla, zobrazia sa iba dostupné funkcie.
- Všeobecné: informácia o zvolenom režime skleníka, aktuálny čas a dátum, možnosť opustiť aplikáciu.

3.3 Skica

Papierová skica predstavuje rýchly a lacný spôsob prezentácie prvotných myšlienok (potrebujeme len papier a pero) bez potreby zachádzať do detailov. Nekritické prvky ani nemusia byť pomenované. Návrhy je možné takmer okamžite predložiť a diskutovať s potenciálnymi používateľmi a získať tak cenné poznatky o ich predstavách a požiadavkách.

Návrhy skíc som konzultovala s potenciálnymi používateľmi. Pre rýchle otestovanie, či skice splňajú svoj účel, som každú poskytla trom až piatim používateľom, ktorí mali splniť nejakú úlohu. Toto testovanie bolo veľmi rýchle a jednoduché a nepripravila som z nich protokoly.

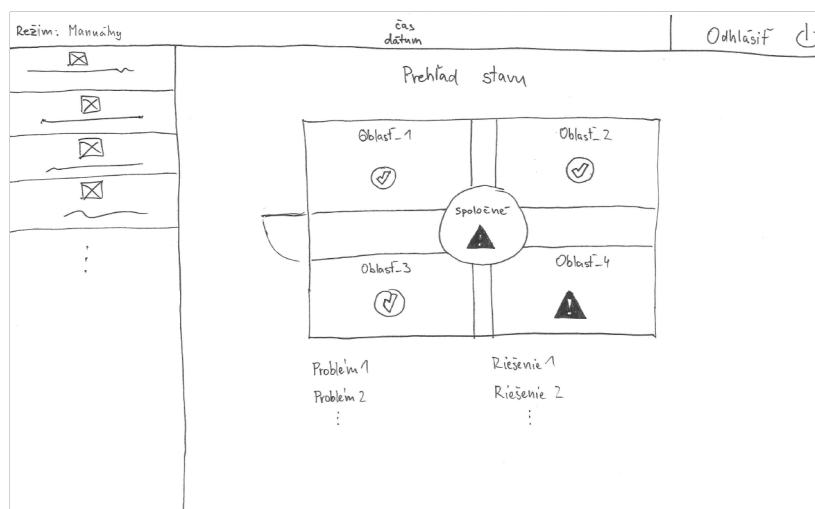
3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

3.3.1 Prehľad stavu

Do vrchnej časti obrazovky som umiestnila pevnú hlavičku, ktorá obsahuje informáciu o aktuálne zvolenom režime skleníka, aktuálny čas a dátum a tlačidlo pre odhlásenie používateľa. Ďalej som na ľavú stranu obrazovky umiestnila navigáciu, ktorá je taktiež pevná, aby sa používateľ mohol kedykoľvek dostať do ktorejkoľvek časti systému. Zvyšok obrazovky slúži pre zobrazenie obsahu.

Uvažovala som aj nad pohyblivou navigáciou, kde by sa po zvolení položky šírka navigácie zmenšila k ľavému okraju obrazovky a každá položka by bola reprezentovaná piktogramom. To by poskytlo viac miesta pre zobrazenie obsahu. Rozhodla som sa proti tejto variante, pretože pohyblivé prvky rozhrania môžu byť rušivé a mätúce najmä pre seniorov [10].

Hlavným prvkom obrazovky je pôdorys skleníka s vyznačenými oblasťami (samostatné okruhy pre zavlažovanie, hnojenie a umelé osvetlenie, spoločná časť pre parametre vzduchu), z ktorých má byť na prvý pohľad jasné, či sa nachádzajú v optimálnom stave. Ďalej obrazovka informuje používateľa o prípadných problémoch aj textovo a ponúka návrhy na riešenie (zatial reprezentované iba nápismi „ProblémX“ a „RiešenieX“). Skica je znázornená na obrázku 3.3.



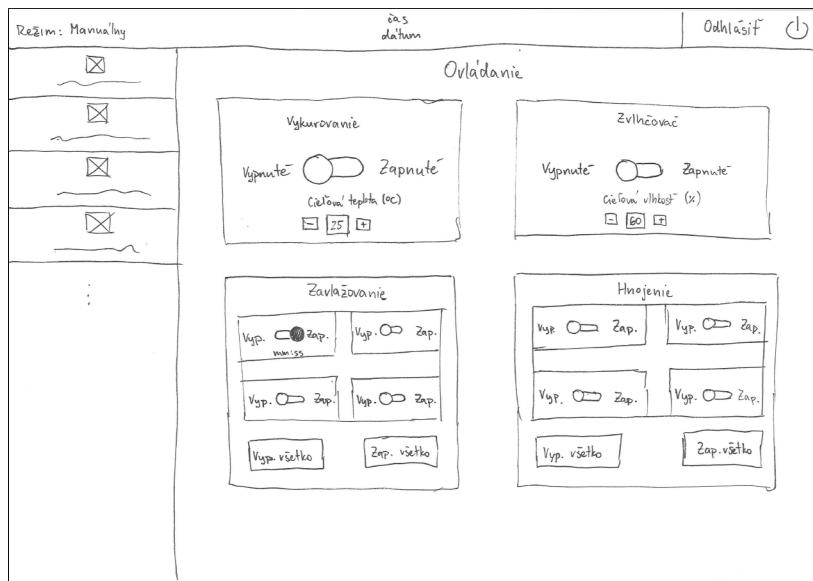
Obr. 3.3: Skica s prehľadom stavu skleníka.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

Skicu som ukázala trom možným používateľom, ktorí mali určiť, či je v skleníku všetko v poriadku. Všetci správne určili, že nie je. Niektorí poznamenali, že sa im páči nápad ponúknuť používateľovi možné riešenia na problémy. Okrem toho nemali žiadne ďalšie pripomienky.

3.3.2 Ovládanie zariadení

Obrazovka pre ovládanie umožňuje používateľovi zapínanie a vypínanie zariadení pomocou prepínacích tlačidiel (angl. *toggle button*). Zariadenia rovnakého typu, ktoré sa nachádzajú v nezávislých oblastiach, sú vždy zoskupené. Ich umiestnenie v rámci zoskupenia je mapované na umiestenie oblasti v rámci skleníka. Táto skica je znázornená na obrázku 3.4.



Obr. 3.4: Skica pre ovládanie zariadení v skleníku.

Skicu som poskytla piatim používateľom, ktorí mali určiť, ako by zapli vykurovanie s cieľovou teplotou 26 °C a zavlažovanie v oblasti 4. Všetci úlohu splnili v relatívne krátkom čase. Viacerí však poznamenali, že ich absencia farieb znervózňovala a chvíľu im trvalo, kým sa zorientovali.

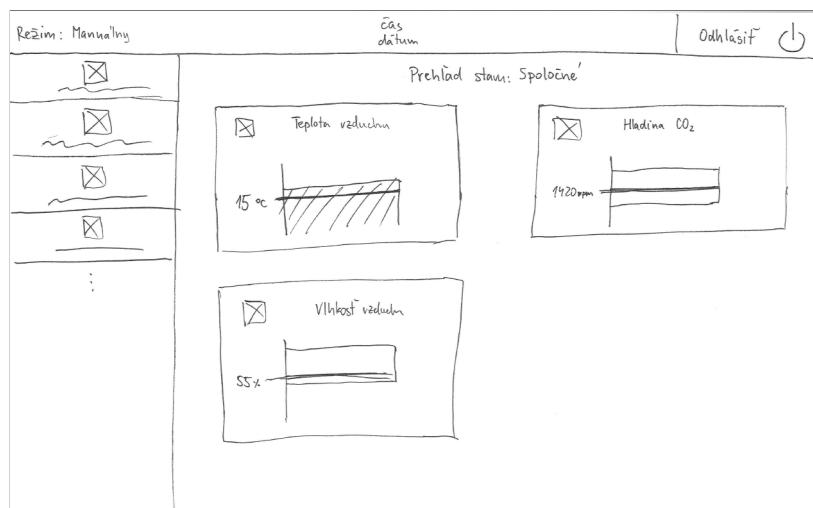
3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

3.3.3 Aktuálne hodnoty

Pre zobrazenie aktuálne nameraných hodnôt je potrebné klepnúť na niektorú oblasť v pôdoryse na úvodnej obrazovke. Rozhodla som sa tak na základe pozorovaní a diskusií uskutočnených pred začatím návrhu. Vtedy som zistila, že mnohým potenciálnym používateľom by stačilo vedieť, či je potrebné v skleníku niečo spraviť a nepotrebuju poznať presné hodnoty. Ak je niektorá hodnota mimo optima, používateľ sa to dozvie z úvodnej obrazovky a môže rovno riešiť problém cez ovládanie zariadení.

Namerané hodnoty sú graficky reprezentované a musí byť okamžite jasné, či sa daná hodnota nachádza v rozmedzí optimálnych hodnôt alebo mimo nich. Na úvodnú obrazovku sa používateľ dostane klepnutím na tlačidlo Späť umiestnené vpravo dole alebo cez navigáciu.

Spôsob prezentácie hodnôt som niekoľkokrát upravovala podľa príponiek používateľov, s ktorými som návrh diskutovala. Výsledná skica zobrazujúca namerané hodnoty sa nachádza na obrázku 3.5.



Obr. 3.5: Skica s informáciou o aktuálnych hodnotách v skleníku.

Výslednú skicu som poskytla trom dobrovoľníkom, ktorí mali určiť aktuálnu teplotu a vlhkosť vzduchu v skleníku. Všetci úlohu úspešne dokončili. Reakcia na fakt, že sú obrázky čiernobiele, bola veľmi podobná, ako pri predošej skici (absencia farieb hodnotená negatívne).

3.4 Drôtený model

Pretože žiadny z používateľov, ktorým boli skice predstavené, už nemal nijaké zlepšujúce návrhy a ja som tiež nemala žiadne pripomienky, pristúpila som k tvorbe drôteného modelu (angl. *wireframe*). Drôtený model už obsahuje celú štruktúru systému, sústredí sa na presné pomenovanie a rozloženie prvkov vrátane ich priority. Nerieši ešte grafickú stránku a väčšinou ani neobsahuje farby a obrázky. Môže sa kresliť ručne, väčšinou sa ale vytvára pomocou softwaru.

Po zvolení softwaru pre tvorbu drôteného modelu som určila informačnú architektúru systému a skice som previedla na drôtený model. Pre zistenie nedostatkov som uskutočnila testovanie s používateľmi.

3.4.1 Volba softwaru

Existuje mnoho aplikácií zameraných na tvorbu drôtených modelov. Desktopové sú zvyčajne komerčné, ale umožňujú tvorbu detailnejších prototypov. Oproti tomu webové aplikácie, najmä tie nekomerčné, bývajú veľmi jednoduché a rýchle, poskytujú však veľmi obmedzenú funkcionality. Ja som zvolila desktopovú aplikáciu Axure RP², aktuálne vo verzii 8, ktorá je komerčná, ale študentom a učiteľom poskytuje licenciu bezplatne. Na trhu pôsobí už vyše 15 rokov a je populárnom volbou³ pre firmy aj jednotlivcov so zameraním na tvorbu používateľských rozhranií.

Okrem toho mám s Axure RP pozitívne skúsenosti. Poskytuje dostatok funkcionality, vďaka čomu je možné vytvoriť interaktívny prototyp s podmienenou logikou, dynamickým obsahom, či dokonca

2. <https://www.axure.com/>

3. Podľa <https://www.axure.com/> „87% zo 100 používa Axure RP na tvorbu drôtených modelov a prototypov pre svoje najdôležitejšie softwarové projekty“.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

animáciami. Ďalej dokáže z prototypu vygenerovať obsah spustiteľný cez webový prehliadač, čo prakticky eliminuje nutnosť vytvárať rôzne verzie prototypu pre konkrétné platformy alebo zariadenia.

3.4.2 Informačná architektúra

Aby sa mi ľahšie podarilo určiť vhodnú informačnú architektúru systému, použila som metódu otvoreného triedenia kariet (angl. *card sorting*). Šiestim účastníkom som rozdala karty s funkciami skleníka. Účastníci mali rozdeliť karty do skupín tak, aby im čo najlepšie dávali zmysel. Potom ich mali pomenovať. Nakoniec polovica účastníkov rozdelila karty do skupín Hodnoty, Ovládanie/regulácia a Nastavenie; druhá polovica vytvorila skupiny Vzduch, Svetlo, Pôda a Technické.

Kedže som považovala za kritické mať čo najskôr k dispozícii prehľad stavu skleníka a najmä informáciu o tom, či je všetko v poriadku, vybrala som prvý spôsob členenia a skupinu Hodnoty som premenovala na Prehľad stavu. Pridala som k nim Kamery a Štatistiky, ktoré v tejto práci nie sú riešené, ale pre ucelený dojem ich systém musí zobrazovať. Dospela som k rozdeleniu: Prehľad stavu, Ovládanie, Nastavenia, Kamery, Štatistiky. Tieto kategórie budú tvoriť navigáciu systému.

Poradie prvkov navigácie som určila nasledovne: 1. Prehľad stavu, 2. Ovládanie, 3. Kamery, 4. Štatistiky, 5. Nastavenia. Pri prvom pohľade na systém musí byť jasné, či je skleník v optimálnom stave. Preto je prvou kategóriou a zároveň úvodnou obrazovkou *Prehľad stavu*. Ak je v skleníku nejaký problém, spravidla sa rieši zapnutím alebo vypnutím niektorého zariadenia, *Ovládanie* je preto druhé. *Nastavenia* sú sice veľmi dôležité, ale prístup k nim má iba *Administrátor*, navyše by do nich nemalo byť potrebné často vstupovať, takže *Nastavenia* sú posledné. *Štatistiky* sú menej žiadané ako *Kamery*, čo rozhodlo o zvyšku poradia. Aktuálne namerané hodnoty sa používateľovi zobrazia po výbratí jednej z oblastí skleníka na obrazovke *Prehľad stavu*.

3.4.3 Tvorba drôteného modelu

Kedže väčšina monitorov a tabletov používa rozlíšenie 1024×768 alebo vyššie⁴, rozhodla som sa práve pre toto rozlíšenie.

4. podľa <http://gs.statcounter.com/>

Pri prevádzaní skíc do elektronickej podoby som v návrhu spravila niekoľko zmien:

- Položky navigácie sú oddelené prázdnym miestom.
- Pred prvou položkou navigácie je do prázdnego miesta umiesťený čas a dátum, ktorý bol pôvodne v hlavičke.
- Upravila som hlášky o problémoch.
- Pod hlášky o problémoch som umiestnila prehľad stavu zariadení.
- Výkričník značiaci problém v oblasti som nahradila symbolmi reprezentujúcimi daný problém.
- Model je doplnený o odtiene sivej, ktoré majú uľahčiť orientáciu. Tieto budú v prototype nahradené farbami.

Na obrázku 3.6 možno vidieť výsledný drôtený model pre obrazovku *Prehľad stavu*. Ostatné obrazovky drôteného modelu sa nachádzajú v obrazovej prílohe.

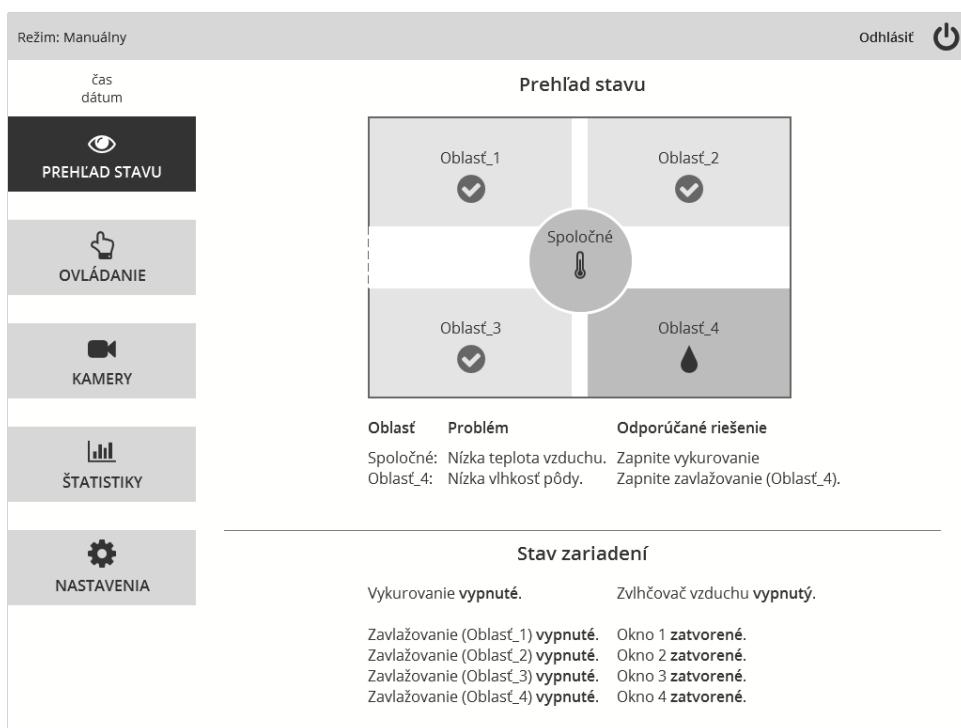
3.4.4 Úlohy pre testovanie drôteného modelu

Vo chvíli, keď som mala drôtený model hotový, bolo treba overiť jeho zrozumiteľnosť. Pripravila som úlohy, ktoré mali zistiť, či sa používatelia dokážu v systéme ľahko orientovať a či si jeho časti interpretujú tak, ako bolo pri návrhu zamýšľané. Úlohy sú zoradené primárne od jednoduchších po zložitejšie a sekundárne od dôležitejších po menej dôležité.

1. Zistite, či je v skleníku všetko v poriadku.
2. Zistite, aký je v skleníku problém.
3. Zistite, či sú v skleníku otvorené nejaké okná.
4. Zapnite vykurovanie s cielovou teplotou vzduchu $26\text{ }^{\circ}\text{C}$.
5. Zapnite zavlažovanie v oblasti „Oblasť_4“.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

6. Otvorte všetky okná v skleníku.
7. Zistite aktuálnu teplotu vzduchu v skleníku.
8. Zistite aktuálnu vlhkosť pôdy v oblasti „Oblast_4“.
9. Kde by ste hľadali možnosť prepnuť skleník do automatického režimu?
10. Kde by ste hľadali možnosť upraviť rozmedzie optimálnych hodnôt pre jednotlivé oblasti?
11. Odhláste sa z aplikácie.



Obr. 3.6: Drôtený model obrazovky *Prehľad stavu*.

3.4.5 Príprava a priebeh testu

Test drôteného modelu prebiehal v neformálnom prostredí, vždy u účastníka doma. K tomu som musela pripraviť všetky podklady. Keďže drôtený model ešte neposkytuje žiadne možnosti interaktivity, jednotlivé obrazovky som vytlačila na papier. Okrem toho som pripravila jednu prázdnú obrazovku, ktorá predstavuje zatiaľ nevypracované časti systému a obsahuje iba hlavičku a navigáciu. Ďalej som pripravila dva výtlačky úloh – jeden pre mňa a jeden pre používateľa. Čo sa týka zaznamenávania priebehu testu, rozhodla som sa pre kombináciu papierových poznámok a audio záznamu.

Pred samotným testovaním som účastníkovi vysvetlila koncept inteligentného skleníka a vymenovala som niekoľko jeho funkcií. Potom som ho oboznámila s priebehom testu a v krátkosti som mu zhrnula, čo sa bude diať a čo bude testovať. Vysvetlila som, že je model ešte v ranej fáze návrhu, preto máme k dispozícii iba vybrané časti systému. Ich interaktivitu budeme simulať nasledovne:

- používateľ „klepne“ prstom na žiadaný objekt na obrázku,
- ak objekt odkazuje na inú obrazovku, podám ju používateľovi,
- ak objekt nikam neodkazuje, používateľovi oznámim, že sa po klepnutí nič neudialo.

Ďalej som účastníka ubezpečila, že ide o testovanie rozhrania a nie používateľa, že neexistujú správne a nesprávne odpovede a že test môže kedykoľvek prerušíť alebo ukončiť. Každého účastníka som požiadala o súhlas s audiozáznamom. Jeden s nahrávaním nesúhlasil, takže pri tomto teste som si iba robila poznámky.

Pre uvoľnenie atmosféry som sa najprv s účastníkom rozprávala o jeho záujmoch a skúsenostach s pestovaním rastlín. Potom sme prešli k samotnému testovaniu drôteného modelu. Po dokončení úloh som s účastníkom ešte diskutovala o jeho dojmoch z priebehu testu a o nápadoch pre zlepšenie drôteného modelu. Po skončení diskusie a zodpovedaní prípadných otázok som účastníkovi podakovala a ubezpečila ho, že mi jeho účasť pomohla.

Testu sa zúčastnili štyri osoby, protokoly sú v prílohe práce a zistené nedostatky sú zhrnuté v ďalšej sekcií.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

3.4.6 Výsledky testu

Na základe audiozáznamu a svojich poznámok z priebehu testu som odhalila niekoľko nedostatkov návrhu:

- Úvodná obrazovka obsahuje veľa textu. Stav zariadení si používatelia buď nevšimnú alebo si ho všimnú oveľa neskôr, ako bolo zamýšľané. Stav konkrétneho zariadenia často kontrolujú cez *Ovládanie*.
- Nie je jasné, že jednotlivé oblasti pôdorysu sú interaktívne a že po klepnutí zobrazujú aktuálne hodnoty oblasti. Používatelia na to sice prišli, ale primárne hľadali aktuálne hodnoty hneď na obrazovke *Prehľad stavu*, následne na obrazovkách *Štatistiky* alebo *Ovládanie*.
- Nie je jasné, aké hodnoty obsahuje oblasť „Spoločné“. Síce súvisiacu úlohu všetci zvládli tak, ako bolo zamýšľané, ale niektorí uvažovali, či by aktuálne hodnoty týkajúce sa vzduchu nemohli byť v jednotlivých oblastiach.
- Termín „Obsah NPK v pôde“ je mätúci, pretože väčšina používateľov nepozná skratku „NPK“.
- Rozdiel medzi položkami *Ovládanie* a *Nastavenia* nie je jasný. Používatelia sa nad týmto pozastavovali a tvrdili, že by si museli pozrieť, ktorá čo ponúka.

Okrem týchto nedostatkov som si ešte uvedomila jednu zásadnú chybu v návrhu. Reprezentácia aktuálnych hodnôt sa spolieha na použitie farieb. Používateľ s poruchou farebného videnia tak môže mať problém určiť, či je daná hodnota optimálna. Ďalej som si uvedomila, že obrazovka *Ovládanie* obsahuje priveľa možností a najmä pri zvýšení počtu zariadení v skleníku by bola úplne neprehľadná. Tieto nedostatky som v prototype odstránila.

3.5 Prototyp

Prototyp oproti drôtenému modelu už obsahuje farby a grafiku. Je doplnený o interaktivitu a práve spôsob interakcie a navigácie medzi časťami systému má demonštrovať. Množstvo detailov závisí od štátia, v ktorom sa návrh nachádza.

Zistené nedostatky drôteného modelu som odstránila a pri tvorbe prototypu som postupovala nasledovne. Prototyp som doplnila o interakcie, následne som zvolila farby prvkov a písma. Vytvorila som sadu piktogramov pre reprezentáciu všetkých grafických prvkov vrátane loga aplikácie. Opäť som pripravila a uskutočnila test s používateľmi, pomocou ktorého som overila použiteľnosť prototypu.

3.5.1 Zmeny oproti drôtenému modelu

Na základe testu drôteného modelu som spravila nasledovné zmeny:

- Stav zariadení zobrazuje iba zapnuté zariadenia a otvorené okná. Obrazovka *Prehľad stavu* je takto „vzdušnejšia“, pretože obsahuje menej textu (je nezvyčajné, aby boli zapnuté všetky zariadenia naraz). Uvažovala som nad grafickou reprezentáciou symbolmi, ktoré by boli šedé pri vypnutom zariadení a farebné pri zapnutom, to by však mohlo príliš odvádzať pozornosť od prehľadu stavu skleníka. Okrem toho by mohol nastať problém, keby boli všetky zariadenia v rovnakom stave – mali by rovnakú farbu a používateľ by nemusel chápať, čo to znamená.
- Do navigácie som pridala položku *Aktuálne hodnoty* a umiestnila ju za *Ovládanie*, ktoré by malo byť najpoužívanejšou kategóriou. Obrazovka *Aktuálne hodnoty* poskytuje zmenšený pôdorys skleníka s vyznačenými oblasťami, pod ním je prehľad hodnôt nameraných vo zvolenej oblasti. Pôdorys na úvodnej obrazovke *Prehľad stavu* je teda výhradne informatívneho charakteru. Pri podržaní myši nad oblasťou sa zobrazí textový popis stavu (*tooltip*). Pri klepnutí na oblasť sa zobrazí plocha s rovnakým popisom, zaviera sa tlačidlom alebo klepnutím mimo plochu.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

- Oblast „Spoločné“ som premenovala na „Vzduch“.
- Výraz „Obsah NPK v pôde“ som nahradila výrazom „Obsah živín v pôde“.
- Obrazovka *Ovládanie* obsahuje tlačidlá s názvami tzv. domén: Vzduch, Pôda, Svetlo. Vzduch umožňuje reguláciu teploty a vlhkosti vzduchu a ovládanie okien. Pôda umožňuje ovládať zavlažovanie a hnojenie. Svetlo nie je práci riešené, ale poskytovalo by možnosť ovládať lampy a žalúzie.
- Položku navigácie pre nastavenia som premenovala na *Nastavenia systému*.
- Zmenila som spôsob vizualizácie nameraných hodnôt, teraz by malo byť jasnejšie, či je daná hodnota optimálna a ak nie je, či je vysoko alebo nízko. Tento popis stavu je vyjadrený navyše textovo. Hodnoty môžu byť optimálne, nízke alebo vysoké.
- Termíny „Vykurovanie“ a „Zvhľčovač vzduchu“ som premenovala na „Regulátor teploty“ a „Regulátor vlhkosti“, pretože skleník by mal umožňovať reguláciu oboch parametrov oboma smermi (zvyšovanie a znižovanie); pôvodné termíny navodzovali dojem, že sa dajú hodnoty iba zvýšiť.

Okrem toho som upravila zarovnanie prvkov, zlepšila vzájomné odlišenie skupín prvkov a každá zo štyroch oblastí skleníka dostala reprezentatívny názov.

3.5.2 Rozloženie prvkov

Návrh využíva dvojstĺpcový layout s hlavičkou na vrchu, navigáciou na ľavej strane a obsahom na pravej strane (obrázok 3.7, vľavo). Ďalej je rozdelený na mriežku, ktorou sa riadi rozloženie opakujúcich sa prvkov (obrázok 3.7, vpravo).

Hlavička má šírku okna prehliadača a výšku 50 pixelov. Tlačidlá navigácie sú 200 pixelov široké a 80 pixelov vysoké, sú zarovnané k ľavému okraju okna prehliadača. Obsah je rozdelený do dvoch stĺpcov, ktorých šírka je dopočítaná na základe pravidla, že prvky od seba budú oddelené 30-pixelovým prázdnym priestorom a zároveň budú

30 pixelov vzdialené od okrajov okna prehliadača. Výnimkou je priestor medzi hlavičkou a zvyškom prvkov, ktorý má výšku 60 pixelov. Slúži na umiestenie textu, konkrétnie aktuálneho času a dátumu nad navigáciu a nadpisu sekcie nad obsah. Tento priestor je dostatočne veľký na to, aby nadpis nezanikol, ani nepôsobil „stiesnene“.



Obr. 3.7: Základný layout vľavo, mriežka prototypu vpravo.

3.5.3 Farebná schéma

Farebná schéma je kombinácia konkrétnych farieb použitých pri návrhu. Zvyčajne ide o logickú kombináciu zvolenú na farebnom kruhu⁵. Jej účelom je dosiahnuť určitú harmóniu farieb a estetický vzhľad.

Pri voľbe farieb som bola rozhodnutá, že zelená bude predstavovať optimálny stav a červená problémový, pretože táto interpretácia farieb je zakorenенá v našej kultúre. Zostávalo mi určiť tretiu farbu pre tlačidlá. Zvolila som teda triadickú farebnú schému, kde sú zvolené farby rovnomerne rozmiestnené na farebnom kruhu (obrázok 3.8, vpravo hore). Tlačidlá preto budú mať modrú farbu.

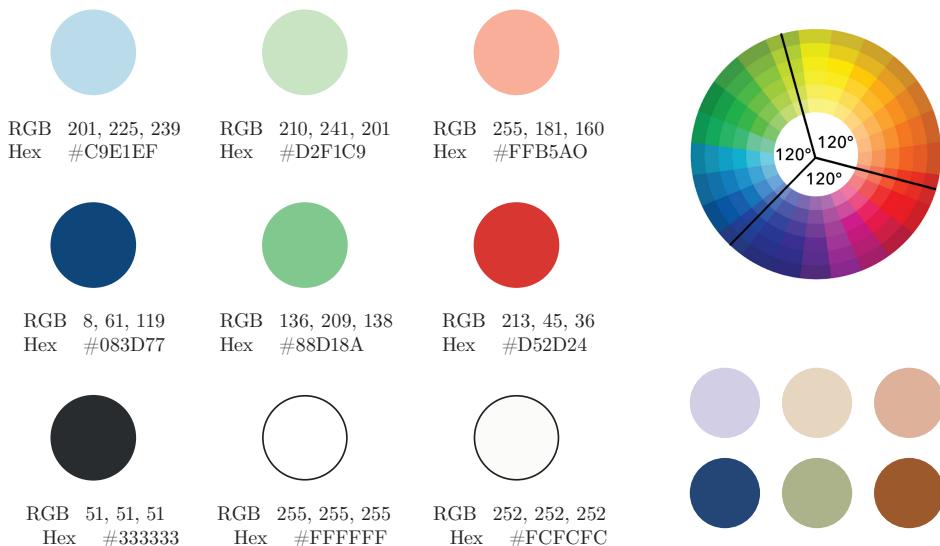
Nabehnutím myši na tlačidlo toto zmení odtieň (indikácia interakcie), konkrétnie sa zníži jas o 7 % (určené empiricky). Aktivované tlačidlo mení farbu na tmavomodrú, čo zároveň indikuje, v ktorej časti systému sa používateľ práve nachádza, prípadne aká možnosť je práve zvolená.

Pre pozadie obsahu som zvolila veľmi svetlý odtieň šedej, pretože biela by mohla byť príliš kontrastná. Z rovnakého dôvodu má text na svetлом pozadí tmavošedú farbu a na tmavom pozadí bielu.

5. Forma znázornenia vzťahu farebných odtieňov; sú rozmiestnené na kruhu.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

Jednotlivé odtiene farieb som volila s prihliadnutím na najčastejšie poruchy farebného videnia (poruchy na zelenom alebo červenom spektri⁶). Celá farebná schéma s príslušnými farebnými kódmi je na obrázku 3.8.



Obr. 3.8: Vľavo farby zvolené pre prvky rozhrania, vpravo hore triadičná farebná schéma a dole zvolené farby s deuteranomáliou.

3.5.4 Písмо

Pri voľbe písma som zohľadňovala najmä čitateľnosť a dostupnosť. Zvolila som rodinu písma Open Sans, ktorá je bezpätková a pri správnom použití dobre čitateľná aj pri menších veľkostiach (aj keď som sa im v návrhu vyhýbala). Navyše je písma dostupné zdarma cez Google Fonts.

V návrhu sú použité rezy Regular pre bežný text a Semibold pre nadpisy, podnadpisy a položky navigácie. Kurzíva je použitá pre zástupný text (napr. ostávajúci čas pri zavlažovaní). Položky navigácie majú veľkosť 16 bodov a sú písané verzálkami, ktoré používateľovi naznačujú väčšiu dôležitosť voči ostatným, vizuálne podobným tlačidlám. Nadpis sekcie má veľkosť 20 bodov, podnadpisy 16 bodov a text

6. podľa <http://www.colourblindawareness.org/>

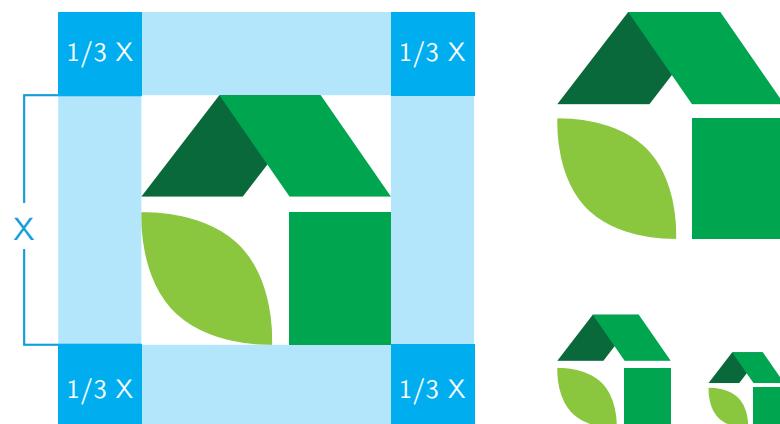
3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

spravidla tiež 16 bodov. Názvy oblastí v rámci zmenšených pôdorysov, doplnkové a vysvetľujúce texty (ostávajúci čas zavlažovania, popis zvoleného režimu apod.) majú veľkosť 14 bodov. Prezentácia nameraných hodnôt je samostatným grafickým prvkom, preto sú vlastnosti písma popísané v rámci sekcie 3.5.7, ktorá sa venuje tomuto prvku.

Nadpisy a podnadpisy sú zarovnané na stred (v rámci svojho priestoru). Zvyšok textu je zarovnaný spravidla k ľavému okraju alebo k ľavej zarázke. Zarovnanie do bloku nie je použité nikde, pretože prototyp neobsahuje dlhšie odstavce textu. Pri prepínacích tlačidlách je text zarovnaný k okraju tlačidla. Ochranné zóny zabezpečujú, že text nie je príliš blízko k okrajom a k ostatným prvkom.

3.5.5 Logo aplikácie

Logo aplikácie je konštruované do štvorca, aby sa dalo použiť ako ikona aj *favicon*. Musí byť preto jednoduché a dobre rozpoznateľné aj pri veľkosti 16 pixelov. Má vyjadriť podstatu aplikácie, ktorou je inteligentný skleník. Chcela som preto v logu sklíbiť tri myšlienky, a to technológiu, prírodu a neživý materiál. Pre zachovanie jednoduchosti som nakoniec vyniechala technológiu, ktorú vyjadruje už samotný fakt, že je skleník ovládaný aplikáciou.



Obr. 3.9: Vľavo vymedzenie ochrannej zóny, vpravo logo veľkosti 30 mm, 15 mm a 10 mm.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

Logo vyjadruje spojenie živej prírody a neživej hmoty. Prírodu zastupuje jednoduchý symbol listu, hmotu samotný skleník. Ten je rozdelený na strechu a bočnú stenu, pričom ramená strechy sa kryjú a sú farebne rozlíšené. Zelená farba loga predstavuje život, ktorý v skleníku rastie. Tri odtiene zelenej slúžia na vzájomné odlišenie objektov a zároveň logu dodávajú hĺbku. Ochranná zóna loga je rovná tretine jeho výšky z každej strany. Logo v rôznych veľkostach a vymedzenie ochrannej zóny sa nachádzajú na obrázku 3.9.

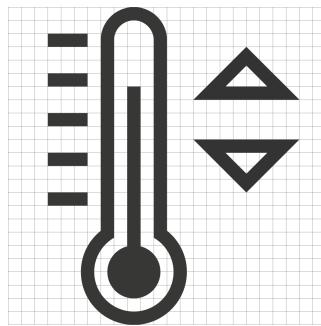
Logotyp kombinuje logo s názvom aplikácie, ktoré používa Open Sans Regular. Účiarie textu je zarovno so spodným okrajom loga. Medzi logom a textom je prázdne miesto rovné tretine výšky loga. Ochranná zóna je taktiež rovná tretine výšky loga (obrázok 3.10).



Obr. 3.10: Vymedzenie ochrannej zóny logotypu.

3.5.6 Piktogramy

Položky navigácie, zariadenia skleníka a parametre s nameranými hodnotami sú reprezentované piktogramami, ktoré som vytvorila pre tento účel. Piktogramy pre položky navigácie sú súčasťou jednej pod-série, ostatné piktogramy druhej a všetky spolu tvoria jednu sériu. Každý piktogram je navrhnutý na 24-pixelovej mriežke so základnou hrúbkou ťahu 1 pixel (obrázok 3.11). Farba piktogramu je vždy rovnaká ako farba textu, ku ktorému patrí. Výnimkou sú piktogramy na pôdoryse v obrazovke *Prehľad stavu*, ktoré sú červené a predstavujú nízku alebo vysokú hodnotu v danej oblasti.



Obr. 3.11: Piktogram na 24-pixelovej mriežke.

Piktogramy pre položky navigácie sú použité v rozmere 33×33 px a ich základná hrúbka ľahu je 1,5 px. Sú čiastočne vyplnené, aby pôsobili výraznejšie a nezanikli kvôli hrubšiemu rezu písma, ktoré je v navigácii použité, ďalej kvôli pozadiu tlačidiel, ktoré je tmavšie ako pozadie aplikácie, a nakoniec kvôli menším rozmerom oproti ostatným piktogramom.

Ostatné piktogramy výplň neobsahujú alebo ju obsahujú len minimálne. Sú umiestnené na svetlom pozadí a majú rozmery 40×40 px, takže ani bez výplne nezaniknú. Piktogramy, ktoré sa zobrazujú na pôdoryse v obrazovke *Prehľad stavu*, majú rozmery 30×30 px z dôvodu, aby sa zmestili na plochu oblasti.

Negatívna verzia piktogramov má stenčené ľahy, pretože v pôvodnej hrúbke by pôsobili opticky hrubšie. V prototype sa používajú negatívne piktogramy iba pre položky navigácie, kedy aktívne tlačidlo mení farbu zo svetlomodrej na tmavomodrú a text s piktogramom z tmavošedej na bielu.

Jednotnosť piktogramov je dosiahnutá ich lineárnosťou a podobnou mierou štylizácie. Vďaka 24-pixelovej mriežke a hrúbke ľahu 1 px (prípadne 1,5 px) môžu piktogramy obsahovať určité množstvo detailov, ktoré je pri jednotlivých piktogramoch podobné. V prípade navigácie, kde majú piktogramy viac plných plôch, je táto miera plošnosti tiež podobná.

Vytvorená séria piktogramov v pozitívnej a negatívnej verzii je zobrazená na obrázku 3.12.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA



Obr. 3.12: Séria piktogramov navrhnutá pre prototyp. Hore pozitívna verzia, dole negatívna.

3.5.7 Prezentácia nameraných hodnôt

Namerané hodnoty sú používateľovi poskytnuté v kombinácii presnej hodnoty, textového popisu a grafickej reprezentácie. Tento prvok má tvar polkruhu. Použitý je Open Sans v rezoch Regular a Semibold, rovnako ako vo zvyšku prototypu.

V strednej časti sa zobrazuje nameraná hodnota s mernou jednotkou. Hodnota je písaná veľkosťou 18 bodov, merná jednotka 12 bodov, obe rezom Regular.

V dolnej časti je textový popis vyhodnotenia stavu, ktorý spadá do jednej z kategórií „nízko“, „optimálne“ a „vysoko“. Text je veľkosti 14 bodov rezu Regular, ak je v kategórii „optimálne“; inak je rezu Semibold.

Horná časť je grafická, kombinuje oba typy informácie. Výseky polkruhu predstavujú tri kategórie a poloha ručičky nameranú hodnotu. Sfarbený je len ten výsek, do ktorého spadá ručička. Celý koncept je znázornený na obrázku 3.13.



Obr. 3.13: Prvky znázorňujúce namerané hodnoty v rôznych stavoch.

3.5.8 Úlohy pre testovanie prototypu

Ako pri testovaní drôteného modelu, aj teraz som pripravila úlohy pre účastníkov testu. Úlohy sú veľmi podobné, boli iba rozšírené pre otestovanie doplnených funkcií.

1. Prihláste sa (meno aj heslo: *test*).
2. Zistite, či je v skleníku všetko v poriadku. Ak nie je, identifikujte problém.
3. Zistite, či je v skleníku zapnuté nejaké zariadenie.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

4. Zistite aktuálnu teplotu vzduchu v skleníku.
5. Zistite aktuálnu vlhkosť pôdy v oblasti „Koreňová zelenina“.
6. Kde by ste hľadali možnosť upraviť rozmedzie optimálnych hodnôt pre jednotlivé oblasti?
7. Zapnite regulátor teploty s cieľovou teplotou vzduchu 26 °C.
8. Zapnite zavlažovanie v oblasti „Koreňová zelenina“.
9. Zatvorte všetky okná v skleníku.
10. Zistite, v akom režime momentálne skleník operuje.
11. Kde by ste hľadali možnosť prepnúť skleník do automatického režimu?
12. Odhláste sa.

3.5.9 Príprava a priebeh testu

Testy prebiehali opäť v neformálnej atmosfére, väčšinou doma u používateľa. K tomu som musela pripraviť zariadenie, na ktorom sa návrh testoval. Rozhodla som sa, že umožním používateľom vybrať si medzi tabletom a notebookom, pretože dostupnosť pre rôzne zariadenia bola jedným z hlavných dôvodov, prečo som návrh koncipovala ako webovú aplikáciu. Prototyp som exportovala do spustiteľnej podoby a na testovacích zariadeniach som ho spustila cez webový prehliadač.

Poučenie používateľa prebiehalo rovnako, ako pri teste drôteného modelu. Forma záznamu tiež ostala rovnaká – poznámky a audio záznam, s ktorým tentoraz každý účastník súhlasil. Pred testovaním som každému používateľovi vysvetlila účel systému, ako je rozvrhnutý skleník, čo znamenajú oblasti a aké zariadenia skleník obsahuje. Následne si používateľ vybral, či chce pracovať na tablete alebo na notebooku (dvaja zvolili tablet, traja notebook) a test mohol začať.

Účastníkov bolo päť, protokoly z testovania sú súčasťou elektronickej prílohy práce. Výsledky sú uvedené v ďalšej sekcií.

3.5.10 Výsledky testu

Testovanie odhalilo jeden väčší nedostatok v návrhu. Pri siedmej úlohe (Zapnite regulátor teploty s cieľovou teplotou vzduchu 26 °C.) v prípade, keď používateľ najprv nastavoval cieľovú teplotu, takmer zabudol zapnúť zariadenie. Táto situácia nastala u troch z piatich testovaných používateľov. Riešením by bolo so zmenou cieľovej teploty rovno zapnúť regulátor teploty. To isté platí pre regulátor vlhkosti. Zmenu som zapracovala do výsledného prototypu.

Jeden používateľ prehliadol informáciu o aktuálnom režime skleníka, ktorá je umiestnená v hlavičke; očakáva ju na obrazovke *Prehľad stavu*. Iný používateľ nepochopil grafickú reprezentáciu nameraných hodnôt. Ostatní účastníci tieto problémy nemali, takže môže ísť o individuálne preferencie, čo by sa však dalo zistiť iba ďalším testovaním.

Dalej nastala situácia, keď používateľ zatváral okná skleníka po jednom, pretože tlačidlo hromadného zatvárania bolo práve mimo zobrazovanú plochu obrazovky. Používateľ si to vzápäť všimol a pri záverečnej diskusii poznamenal, že podľa neho nejde o chybu v návrhu. Zrejme by však bolo vhodné umiestniť na spodok aplikácie farebne odlišenú pätičku, vďaka ktorej bude jasné, že používateľ dosiahol koniec obsahu. Alternatívne by sa mohlo implementovať elastické rolovanie (angl. *elastic scrolling*).

Poslednou výčitkou by mohlo byť zaradenie ovládania okien pod doménu Vzduch. Jeden používateľ ich hľadal v rámci domény Svetlo. Nemyslím si však, že by bolo vhodné umiestniť ovládanie okien do tejto kategórie, pretože aj keď okná svetlo prepúšťajú, ich ovládaním sa ovplyvňuje kvalita vzduchu. Nad zmenou by bolo aktuálne uvažovať v prípade, že by sa na oknách dala regulovať priepustnosť slnečného žiarenia.

Po vysporiadaní sa s vyššie uvedenými nedostatkami považujem prototyp za pripravený pre ďalšie spracovanie a vytvorenie aplikácie. Pri testovaní na existujúcom inteligentnom skleníku by bolo potrebné ďalšie testovanie, ktoré by mohlo poskytnúť viac návrhov na zlepšenie. Spustiteľný prototyp sa nachádza v elektronickej prílohe práce.

Výsledný prototyp je súčasťou elektronickej prílohy práce, odkiaľ je spustiteľný cez webový prehliadač bez potreby pripojenia k Internetu. Prototyp je tiež prístupný online prostredníctvom Axure Share na adrese <https://b2obub.axshare.com/>.

3. NÁVRH POUŽÍVATEĽSKÉHO ROZHRANIA

3.6 Lokálny ovládací panel

V tejto podkapitole definujem zmeny, ktorými by sa navrhnutý prototyp mohol upraviť pre lokálny ovládací panel.

Lokálnym ovládacím panelom je dotykový displej určený špecificky na ovládanie skleníka. Nachádza sa priamo v skleníku a je pripojený k riadiacemu systému. Používateľské rozhranie sa oproti webovému líši nasledovne:

- Používateľ sa nemusí prihlasovať. Miesto toho sa obrazovka panela štandardne nachádza v stave „zamknutá“, kedy je dostupný iba *Prehľad stavu*. Panel sa odomyká tlačidlom v hlavičke a po kliknutí naň sa objaví zvyšok navigácie. Ak chce používateľ zasiahnuť do funkcií, ktoré nie sú dostupné všetkým, je vyzvaný k zadaniu hesla. Tiež je možné panel nastaviť tak, aby sa heslo vyžadovalo rovno pri odomknutí a na základe toho sa zobrazia iba dostupné prvky systému.
- Keďže panel zamknutý, pri ťuknutí na oblasti skleníka sa objaví okno s textovým popisom stavu. Ak je v oblasti nejaký problém, okno navyše obsahuje možnosť priamo naň reagovať (prijat alebo zamietnuť systémom navrhované riešenie). Toto je navrhnuté takým spôsobom, aby používateľ *Dieťa* dokázal vykonať úlohu na základe inštrukcií ostatných skupín používateľov, ale zároveň nemal možnosť vykonať v systéme akcie, ktoré by mohli poškodiť úrodu v skleníku.
- Po ukončení práce môže používateľ panel uzamknúť tlačidlom, po určitej dobe nečinnosti sa panel uzamkne sám.

4 Záver

V práci som sa zaoberala problematikou automatizácie procesu skleníkového pestovania a návrhu používateľského rozhrania pre ovládanie inteligentných skleníkov.

Získala som prehľad o základných požiadavkách kladených na moderný skleník z hľadiska skleníkovej teórie, ďalej som získala prehľad o v súčasnosti používaných metódach regulácie prostredia v skleníku vrátane bežne dostupných možností automatizácie tohto procesu. Na základe týchto vedomostí som určila funkcie, ktorými by mohol disponovať inteligentný skleník pre domáce pestovanie.

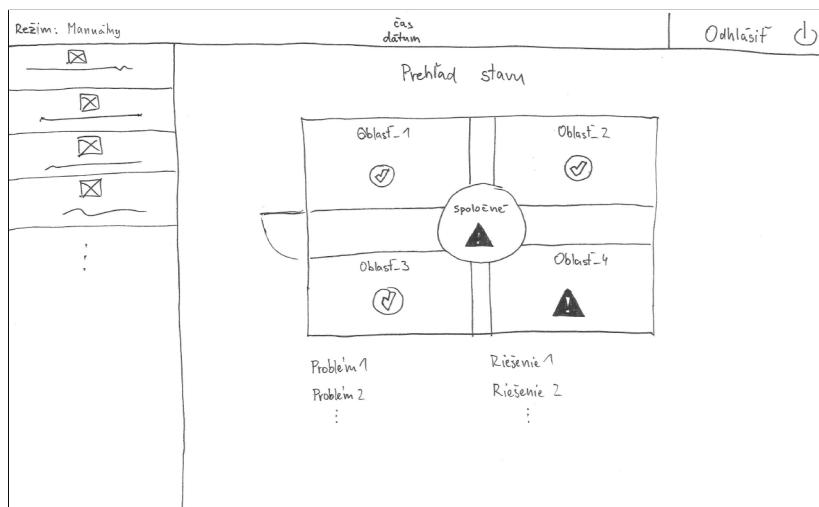
Preštudovala som dostupné ovládacie zariadenia a spôsoby ovládania inteligentných skleníkov. Prieskumom som definovala pravdepodobné skupiny používateľov a kvôli širokému záberu som pre návrh používateľského rozhrania zvolila webovú aplikáciu. Pre prototyp som ďalej zvolila subsystém pre reguláciu kvality vzduchu a pôdy. Pri jeho vytváraní som získala skúsenosti s kompletným návrhom používateľského rozhrania od prvotných konceptov až k interaktívному prototypu. Návrh som vytvárala iteratívne pomocou overených metod pre dosiahnutie dobrej použiteľnosti. Pravidelne som čiastkové návrhy overovala testami použiteľnosti.

Výsledný návrh rešpektuje požiadavky na modularitu, teda poskytuje priestor pre rozšírenie v prípade doinštalovania zariadení do skleníka. Vďaka pravidelnému overovaniu kvality návrhu je prototyp pripravený k ďalšiemu spracovaniu a implementácii, ktorá by ideálne mala byť iteratívna.

Zdroje

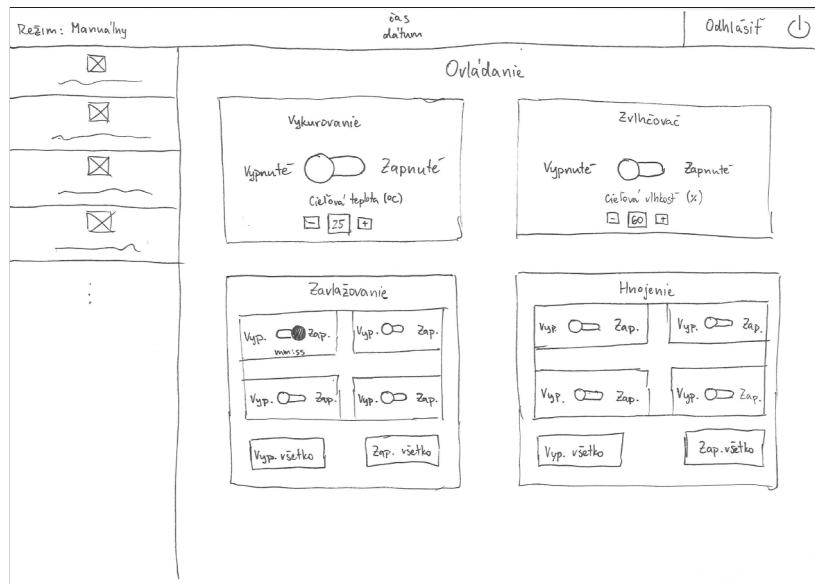
1. CAMPBELL, J. Greenhouse. *Salem Press Encyclopedia of Science* [online]. 2017 [cit. 2017-09-15]. Dostupné z: <http://search.ebscohost.com>.
2. VONDRAK, A. *Skleníky*. 1. vyd. Brno: ERA, 2007. ISBN 978-80-7366-105-2.
3. LITTMARCK, F. The Greenhouse Effect. *Comsol blog* [online]. 2013 [cit. 2017-10-07]. Dostupné z: <https://www.comsol.com/blogs/the-greenhouse-effect/>.
4. HANAN, J. J. et al. *Greenhouse management*. Heidelberg: Springer, 2012. ISBN 978-3-642-66780-0.
5. HAŠ, S. *Skleníky, jejich vlastnosti a vybavení*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1997. ISBN 80-86153-11-8.
6. VALEŠ, M. *Inteligentní dům*. 2. vyd. Brno: ERA, 2008. ISBN 978-80-7366-137-3.
7. VAN STRATEN, G. et al. *Optimal control of greenhouse cultivation*. Boca Raton: CRC Press, 2011. ISBN 978-142-0059-632.
8. HARPER, R. et al. *Inside the Smart Home*. London: Springer, 2003. ISBN 18-523-3688-9.
9. MRAFKO, L. PLC a ich programovanie. *Posterus*. 2010, roč. 3, č. 4. ISSN 1338-0087.
10. NIELSEN, J. Seniors as Web Users [online]. 2013-05-28 [cit. 2017-10-10]. Dostupné z: <https://www.nngroup.com/articles/usability-for-senior-citizens/>.

A Obrazová príloha

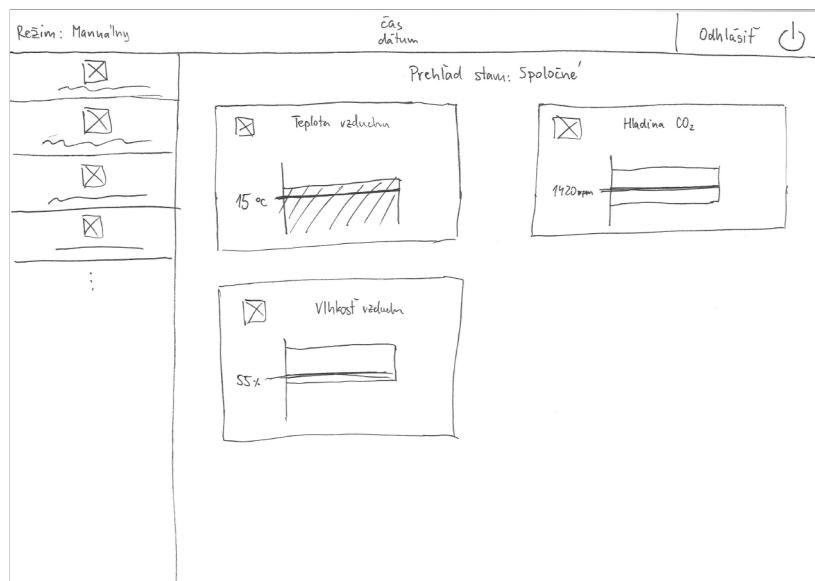


Obr. A.1: Skica úvodnej obrazovky s prehľadom stavu skleníka.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA

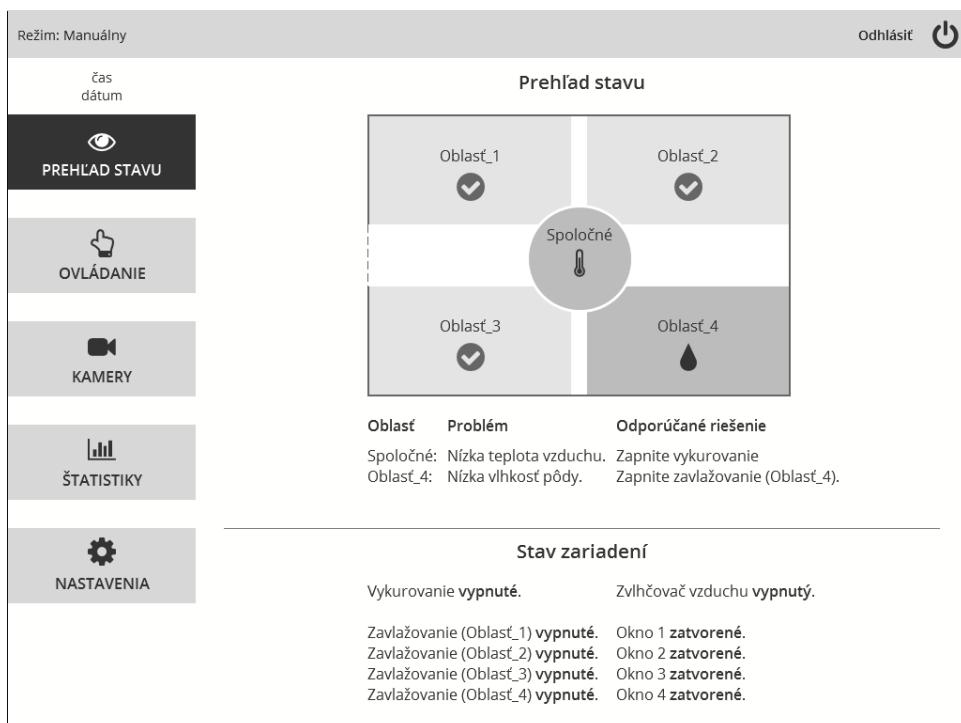


Obr. A.2: Skica obrazovky pre ovládanie zariadení skleníka.



Obr. A.3: Skica obrazovky pre ovládanie zariadení skleníka.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



Obr. A.4: Drôtený model úvodnej obrazovky *Prehľad stavu*.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



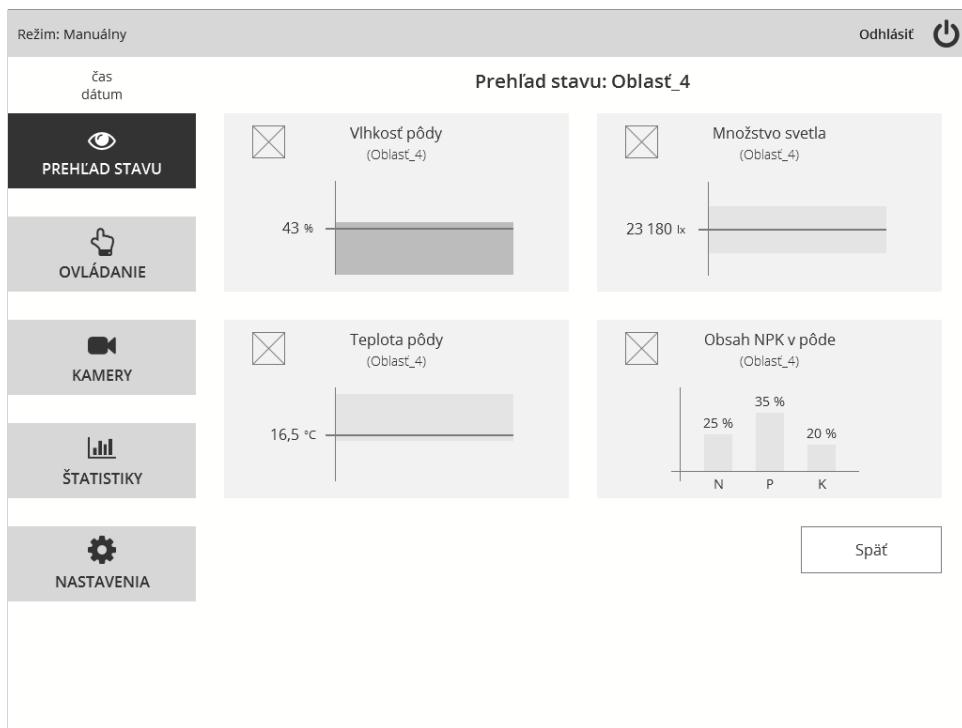
Obr. A.5: Drôtený model obrazovky *Ovládanie*.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



Obr. A.6: Drôtený model obrazovky s aktuálnymi hodnotami oblastí „Spoločné“.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



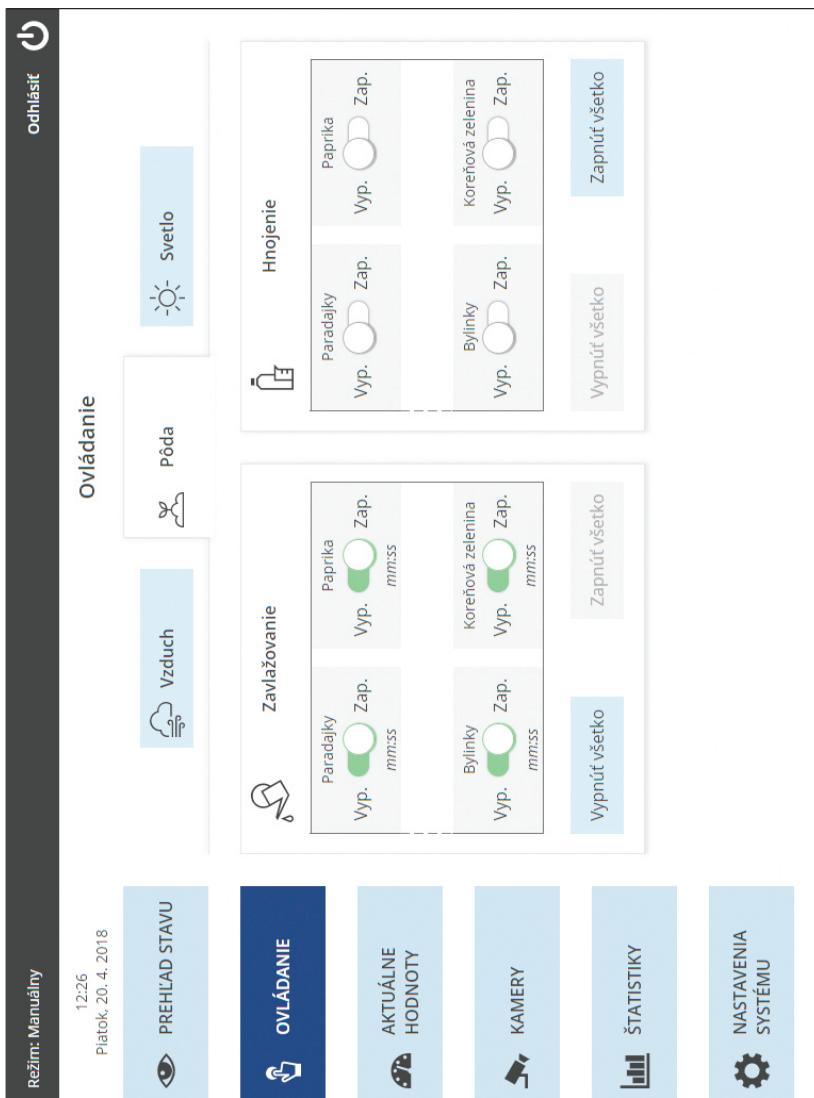
Obr. A.7: Drôtený model obrazovky s aktuálnymi hodnotami oblasti „Oblast_4“.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



Obr. A.8: Výsledný prototyp úvodnej obrazovky.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



Obr. A.9: Výsledný prototyp obrazovky Ovládanie pre doménu „Pôda“.

A. OBRAZOVÁ PRÍLOHA



Obr. A.10: Výsledný prototyp obrazovky Aktuálne hodnoty pre oblasť „Koreňová zelenina“.

B Obsah elektronickej prílohy

Elektronická príloha práce obsahuje:

- obrazovú prílohu,
- vyhodnotenie dotazníka,
- protokoly z testovania drôteného modelu,
- protokoly z testovania prototypu,
- výsledný prototyp spustiteľný vo webovom prehliadači.