

Interaktivní projekční stěna (IPS)

Dokumentace

ID: DCGI FZV 03/2021

Vyvinuto v rámci projektu:

Prezentace a ochrana 3D digitálních objektů v muzejních sbírkách

Program na podporu aplikovaného výzkumu a experimentálního vývoje
Národní a Kulturní Identity 2020

ID Projektu: **DG20P0OVV027**

Obsah

1 Obecný popis a funkce zařízení	3
1.1 Účel IPS, popis a definice pojmu	3
2 Uživatelský popis - funkce a software	5
2.1 Funkce základního firmware IPS	5
2.2 Scénáře použití IPS	5
2.2.1 Ovládání gesty	5
2.2.2 3D model	5
2.2.3 3D scéna	5
2.2.4 Obrazová galerie	6
2.2.5 Video	7
2.3 Základní životní cyklus obsahu	7
2.3.1 Vytvoření prezentačního balíčku	7
2.3.2 Nahrání prezentačního balíčku	7
2.3.3 Spuštění a vypnutí prezentace	7
2.4 Popis a využití senzorů IPS	8
2.4.1 Mikrofony	8
2.4.2 Hloubková kamera	8
2.4.3 Detektory pohybu	8
2.4.4 Detektor osvětlení	8
2.4.5 Detektor vzdálenosti	8
3 Technický popis	9
3.1 Výrobní dokumentace konstrukce stěny	9
3.2 Elektronická výbava	9
3.3 Senzory	9
3.4 Aktivní prvky	10
3.5 Výstupní část - aktuátory	10
3.6 Kabeláž	11
3.7 Mechanické díly pro osazení elektroniky	11
3.8 Software	12
3.8.1 Popis základního software	12
3.8.2 Vnitřní komunikace	14
3.9 Ovládání projektorů přes Raspberry Pi	14
3.10 Popis elektronické komunikace IPS s vnějším světem	14
3.11 Programátorská dokumentace	14
4 Návod k sestavení a oživení	15
4.1 Sestavení projekčního boxu	15
4.2 Osazení zařízení, kabeláže a senzorů	15
4.3 Oživení a komunikace s IPS	16
4.3.1 Oživení	16
4.4 Kalibrace	16
4.5 Inicializace a spuštění prezentačních balíčků	17
5 Přílohy	18

1 Obecný popis a funkce zařízení

1.1 Účel IPS, popis a definice pojmu

IPS je projekční zařízení s prvky interakce využívající systému zadní projekce pro vytvoření obrazu o rozměrech 4x2m (viz obr. 1). Zařízení je určené především pro prezentaci 3D obsahu (3D modely, 3D scény) v paměťových institucích jako jsou muzea nebo tam, kde je potřeba prezentovat 3D obsah interaktivní formou na velkoplošném obrazu. IPS využívá sadu senzorických prvků pro detekci přítomnosti diváků a jejich pohybu v okolí stěny a dále senzory pro detekci zvukových signálů a světelných podmínek v okolí stěny.



Obrázek 1 Studie projekční stěny - vzhled.

Stěnu lze použít v orientaci na šířku (landscape) nebo na výšku (portrait). Stěna je navržena tak, aby jí bylo možné synchronizovat s jinými stejnými zařízeními a při orientaci na výšku i na šířku tak šlo vytvořit obraz složený z několika obrazů o základním rozměru 4x2 (obecně nx4x2, nebo nx2x4, kde n je počet použitých IPS; viz např. obr. 2).

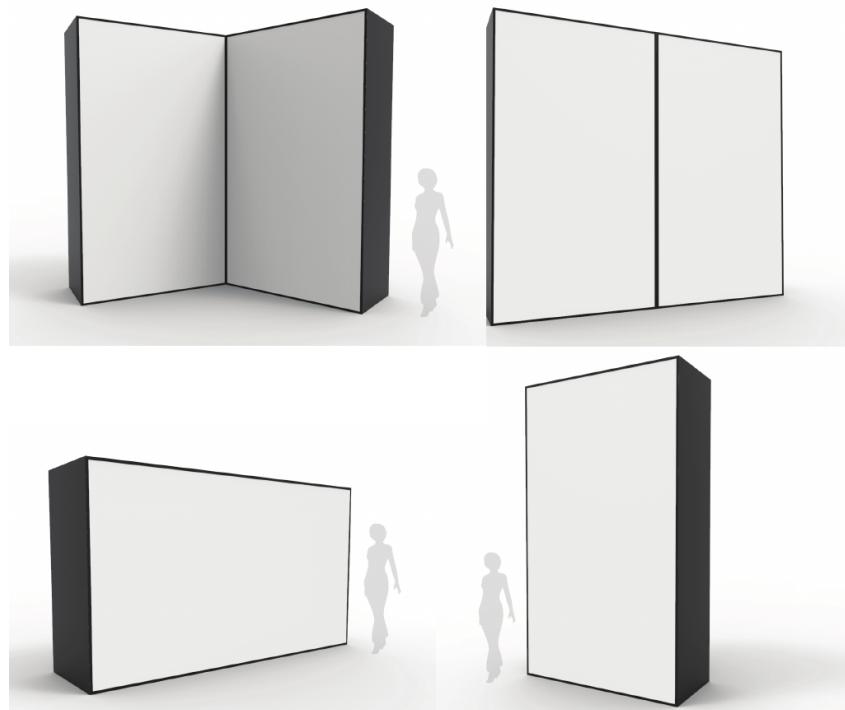
Stěna zahrnuje konstrukci boxu z ALU profilů o rozměrech 4x2x1m v prototypu opláštěnou MDF deskami nastríkanými černou barvou, projekční fólií, kterou lze dle potřeby vyměnit za ekvivalent o různých kvalitativních a cenových parametrech. Dále stěna obsahuje projekční část (skládající se ze dvou projektorů, které lze zaměňovat za ekvivalent s různými kvalitativními a cenovými parametry; viz obr. 3), řídící část a senzorickou část.

Řídící část zahrnuje počítač a programové vybavení (**firmware**) umožňující zobrazování prezentací a zajišťující zpracování údajů ze senzorické části a komunikaci stěny s okolními zařízeními v počítačové síti. Řídící část obsahuje původní softwarové vybavení vytvořené pro IPS a zajišťuje transformace a spojení projekcí do jednoho obrazu a dále spouští další SW komponenty v závislosti na typu prezentace.

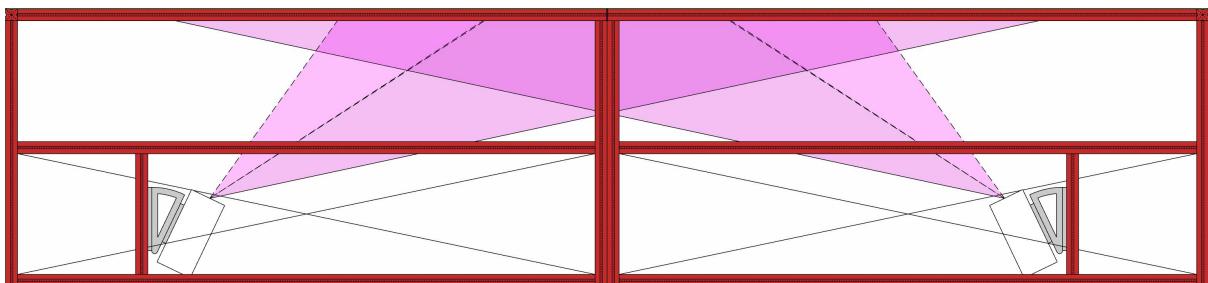
Senzorická část stěny zahrnuje hloubkovou kameru, dva mikrofony, dva pohybové PIR senzory, senzor intenzity světla, detektor vzdálenosti a dále programovatelné aktivní prvky (provádějící první zpracování dat ze senzorů) a kabeláž. Tato část umožňuje interakci diváků a dané prezentace, pokud je to v daném prezentačním balíčku nastaveno (viz prezentační balíček v sekci 2.1). Údaje ze senzorů mohou být podle typu prezentace využity k různým účelům dle kreativity autora.

Vizuální výstup stěny doplňuje **audio výstup** zprostředkovaný dvěma reproduktory umístěnými uvnitř boxu.

Prezentace vychází z definice 4 typických scénářů založených na čtyřech datových formách: 3D objekt, 3D scéna, Obrazová galerie, Video. Každá **datová forma** reprezentuje jiný způsob manipulace a jiný scénář interakce s divákem. Divák s každou prezentací



Obrázek 2 Studie projekční stěny - varianty.



Obrázek 3 Vnitřní uspořádání projekce.

komunikuje několika jednoduchými gesty (viz popis gest v sekci 2.2.1), která mají významy podle použité aktuální datové formy. Prezentace je fyzicky reprezentována tzv. **prezentačním balíčkem**, který je vytvářen pomocí aplikace **Správce obsahu (Content Manager)**, spravující vstupní data pocházející ze zdrojů využívaných paměťovou institucí. IPS prezentuje vždy jen jednu formu v daný okamžik.

2 Uživatelský popis - funkce a software

2.1 Funkce základního firmware IPS

Základní funkcí firmware IPS je schopnost prezentovat uživateli vizuální a zvukový obsah s možností ovlivňovat průběh prezentace pomocí gest návštěvníka, případně pohybem všech návštěvníků v okolí IPS. Obsah prezentace definuje tzv. **prezentační balíček**. Jedná se o soubor několika typů dat: vlastní zobrazovaná data, metadata popisující prezentovaný obsah a instrukce definující reakce IPS na vnější události. Tyto informace jsou pořizovány v aplikaci Správce obsahu ([Content Manager](#)). V IPS jsou v průběhu prezentace generovány události pocházející od návštěvníků (obecně od senzorů IPS), které jsou přiřazeny k akcím prováděným v rámci firmware IPS (např. otočení 3D modelu, pohyb v 3D scéně, spuštění videa apod.). IPS má k dispozici informace o pozici některého vybraného návštěvníka, pohybu ostatních návštěvníků, vzdálenosti návštěvníka na středové ose od stěny, zvukovém projevu návštěvníků a úrovni světla v místnosti. V prezentačním balíčku lze pak definovat, na které podněty a jak bude IPS reagovat při prezentaci obsažené v aktuálně nahraném balíčku.

2.2 Scénáře použití IPS

2.2.1 Ovládání gesty

Prezentace s použitím IPS jsou založeny na čtyřech základních datových formách: 3D model, 3D scéna, obrazová galerie a video. V jeden okamžik může být prezentována právě jedna datová forma a od ní se pak odvíjí konkrétní scénáře prezentace využívající informace ze senzorů vybraných použitým prezentačním balíčkem. V rámci scénářů je hlavním prostředkem pro komunikaci návštěvníka sada pěti gest (viz obr. 4). Čtyřmi základními gesty je mávnutí do jedné ze čtyř stran - nahoru, dolů, vlevo, vpravo. Detekce mávnutí je nastavena tak, aby firmware rozpoznal dostatečně dlouhé mávnutí z přirozeného postoje návštěvníka. Pátým základním gestem je ukázání rukou, které je typicky využívané pro volbu interaktivních objektů:

- zvednutí ruky nahoru (**UP**),
- mávnutí rukou dolů (**DOWN**),
- vedení kurzoru pohybem ruky (**POINT**),
- posun ruky zprava doleva (**TOLEFT**) a
- posun ruky zleva doprava (**TORIGHT**).

Návštěvník, který se objeví před stěnou IPS pomocí těchto gest ovládá prezentaci. Pokud se před stěnou nachází více osob, IPS vybere první nebo tu, kterou vidí nejlépe do chvíle, dokud neodejde ze zorného pole hloubkové kamery IPS.

2.2.2 3D model

Datová forma 3D model předpokládá prezentaci samostatného modelu objektu, který není doplněn žádným kontextem (např. artefakt, kámen, model zvířete apod.). Návštěvník může model ovládat sadou gest rozpoznávanou IPS. Reakce obrazu na IPS závisí na definici událostí v prezentačním balíčku, který je vytvářen v prostředí aplikace Content Manager (viz dokumentace [Správce obsahu](#)). Obvyklé nastavení umožní návštěvníkovi model otočit nebo zvětšit/zmenšit případně posunout po projekční ploše. Na základě metadat provázejících model v prezentačním balíčku se mohou zobrazovat některé údaje popisující okolnosti vzniku modelu (autor, popis, apod.).

2.2.3 3D scéna

Tato datová forma je nejsložitější a slouží k prezentaci krajiny, kde mohou být umístěny modely rostlin, zvířat, budov apod. Uživatel má obvykle možnost pomocí gest cestovat ve scéně (dopředu a do stran) mezi stanovenou sadou míst a rozhlížet se mezi stanovenými body zájmu. Cestování uživatel provádí formou výběru směru, kudy chce v prohlídce



Obrázek 4 Gesta pro ovládání prezentací na IPS: zvednutí ruky nahoru (U), mávnutí rukou dolů (D), vedení kurzoru pohybem ruky (P), posun ruky zprava doleva (L) a posun ruky zleva doprava (R).

pokračovat, a následného pohybu vpřed. K výběru směru nebo bodu zájmu slouží gesta mávnutí rukou vlevo a vpravo, k pohybu vpřed slouží mávnutí rukou zdola nahoru (viz Ovládání gesty, sekce 2.2.1). Prezentace 3D scény slouží k realizaci virtuálních procházek návštěvníka různými prostředími.

2.2.4 Obrazová galerie

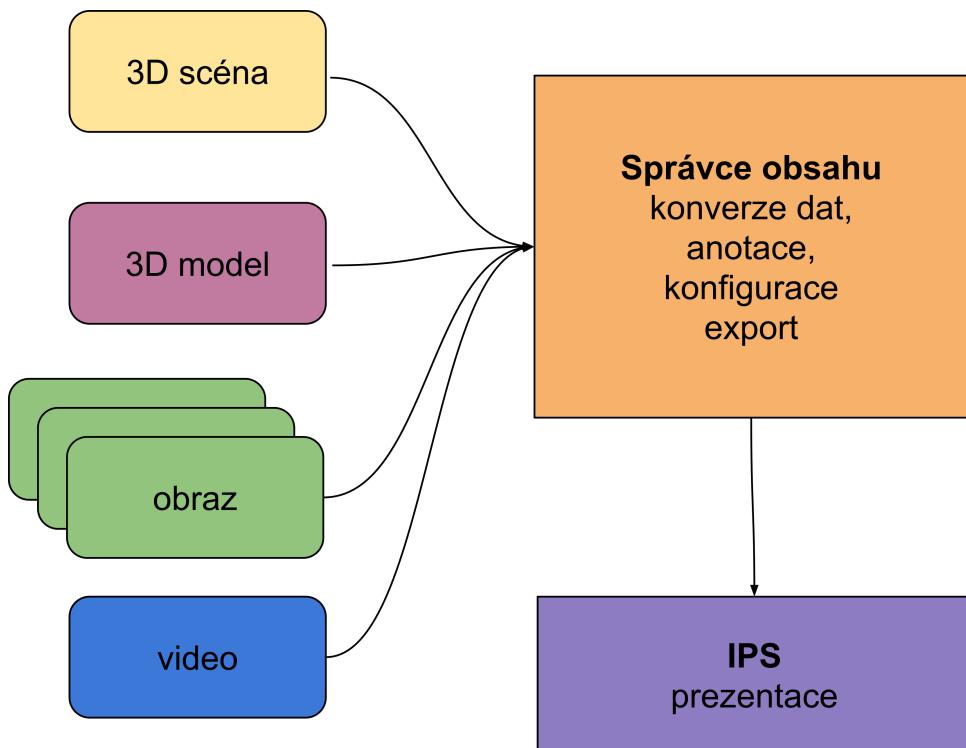
Obrazová galerie je forma sloužící k prezentaci rastrových obrázků. Návštěvníkovi se zobrazuje v podobě sady obrazů (fotografií) uspořádaných do pravoúhlé mřížky. Návštěvník si galerii může obrázky posouvat nebo vybrat si některý pro plné zobrazení.

2.2.5 Video

Video představuje způsob prezentace umožňující návštěvníkovi video spustit nebo zastavit. Pro spuštění videa je možné využít senzor detekce pohybu, který automaticky spustí přehrávání videa na IPS v okamžiku, kdy IPS zaznamená pohyb ve svém okolí.

2.3 Základní životní cyklus obsahu

Používání IPS pro konkrétní prezentaci konkrétního obsahu je založeno na životním cyklu prezentačního balíčku (viz obr. 5). Jeho obsahem jsou definovány forma prezentace, způsob komunikace s návštěvníky i samotný obsah. Životní cyklus prezentačního balíčku obsahuje následující fáze.



Obrázek 5 Životní cyklus prezentačního balíčku.

2.3.1 Vytvoření prezentačního balíčku

Tato část životního cyklu je realizována v prostředí Správce obsahu (viz Dokumentace [Správce obsahu](#)), což je aplikace umožňující tvorbu a správu prezentačních balíčků. Správce obsahu poskytuje nástroje pro proces konverze vstupních dat, jejich anotaci a definování událostí pro řízení interakce s návštěvníky. Výstupem tohoto procesu je konkrétní prezentační balíček.

2.3.2 Nahrání prezentačního balíčku

Hotový prezentační balíček má formu archivního ZIP souboru. Po jeho exportu je balíček nahrán z prostředí Správce obsahu na IPS a zpracován firmwarem IPS, čímž je připraven pro prezentaci.

2.3.3 Spuštění a vypnutí prezentace

Prezentace balíčku je spuštěna automaticky po připojení IPS k napájení. Tím se spustí hlavní počítač IPS, firmware detekuje přítomnost aktuálního balíčku, zapne projektoru a spustí prezentaci balíčku.

2.4 Popis a využití senzorů IPS

IPS disponuje sadou senzorů, které je možné podle předchozího popisu v konkrétní prezentaci využít. Jedná se o mikrofony, hloubkovou kameru, detektory pohybu, detektor osvětlení a detektor vzdálenosti. Všechna nastavení týkající se využití a zapojení senzorů do prezentace se provádějí v prostředí Správce obsahu při sestavování prezentačního balíčku.

2.4.1 Mikrofony

Mikrofony jsou na stěně umístěny v páru - po jednom na levé a pravé straně boxu. V současné verzi firmware je možné využít mikrofony jako hlukové detektory. Například při větší úrovni hluku v okolí, IPS může reagovat spuštěním prezentace nebo zvýšením úrovně audio výstupu. V budoucích verzích se počítá s možným využitím mikrofonních vstupů pro hlasové ovládání, obecně pro hlasovou komunikaci s IPS v rámci prezentace.

2.4.2 Hloubková kamera

Hloubková kamera je umístěna na spodním okraji obrazu a je využívána pro detekci gest návštěvníka. Tato funkce je základním komunikačním prostředkem mezi IPS a návštěvníkem. Firmware IPS rozpoznává 5 základních gest (viz popis gesty 2.2.1), přičemž v konkrétní prezentaci může a nemusí být gesto využito.

2.4.3 Detektory pohybu

IPS disponuje párem IR detektorů pohybu umístěných po levé a pravé straně boxu IPS. Jejich funkcí je rozpoznávat aktivity návštěvníků v okolí boxu IPS. V případě nulové aktivity je možné aktuální prezentaci zastavit nebo spustit šetřič projektorů apod.

2.4.4 Detektor osvětlení

Detektor osvětlení je senzor umístěný na boxu IPS ve středu horního okraje obrazu. Jeho účelem je získání informace o aktuální úrovni osvětlení v místnosti. Tuto informaci je pak možné využít pro regulaci intenzity projekce, ale například i pro kreativní zapojení do prezentace v kombinaci s externí světelnou instalací.

2.4.5 Detektor vzdálenosti

Detektor vzdálenosti je umístěn na boxu IPS ve středu horního okraje obrazu a měří vzdálenost nejbližšího objektu (návštěvníka) od obrazu na jeho středové ose. Tato informace je využitelná v prezentacích, kde lze na základě měnící se vzdálenosti návštěvníka od obrazu měnit některé informace v prezentaci, pohledové transformace, případně celý model. Proměňující se vzdálenost je tak možné vztáhnout například k proměnám prezentovaného modelu v čase apod.

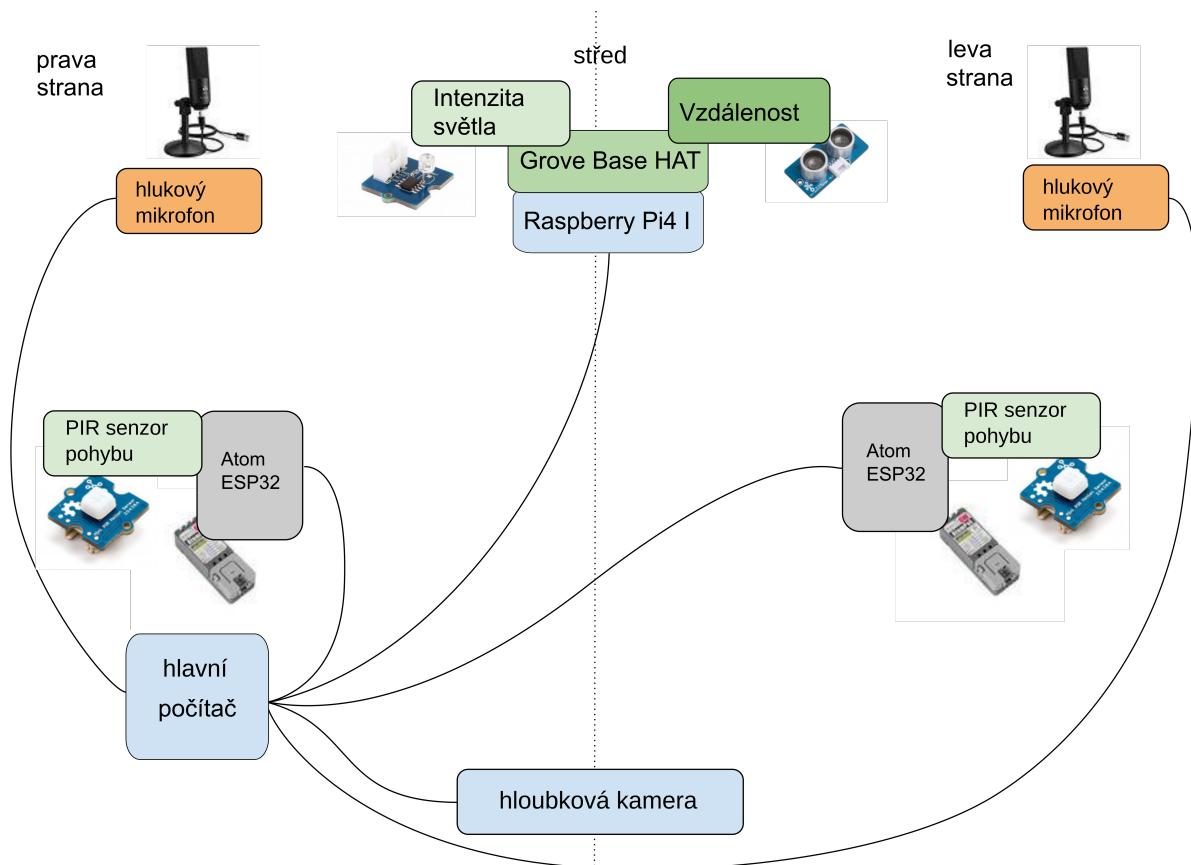
3 Technický popis

3.1 Výrobní dokumentace konstrukce stěny

Výrobní dokumentace je dostupná v [příloze](#) tohoto dokumentu nebo v [repozitáři](#) projektu.

3.2 Elektronická výbava

Box IPS je osazen elektronikou, která realizuje základní řetězec SCA (sensor-controller-actuator) pro všechny výše popsané typy prezentací a umožňuje tak interakci uživatele se všemi typy prezentace. Koncept propojení jednotlivých prvků osazených v IPS je založen na standardu IEEE 802.3af, který umí napájet jednotlivá zařízení s příkonem do 15,4W , PoE (Power over Ethernet), umožňuje využívat pouze jeden typ kabeláže pro napájení aktivních prvků se senzory a přenos signálů. Tomuto konceptu pak byl podřízen výběr většiny zařízení. V následující části je uveden soubor použitých prvků tvořících řetězec SCA (viz obr. 6).



Obrázek 6 Schéma rozmístění senzorů, jejich vzhled a propojení s ostatními aktivními prvky.

3.3 Senzory

Senzorická část IPS je postavena na sadě senzorů popsaných z uživatelského hlediska výše. Zde jsou uvedeny konkrétní typy použité v IPS:

- USB Mikrofony - FIFINE K670B 2x
- Hloubková kamera - Orbbec Astra + (modul bez krytu)

- Detektor pohybu - Grove - Mini PIR 2x
- Detektor intenzity světla - Grove - Senzor intenzity světla v1.2 2x
- Detektor vzdálenosti - Grove - Ultrazvukový senzor 1x

3.4 Aktivní prvky

Základním aktivním prvkem je počítač na němž jsou v IPS zpracovávané všechny získané informace. Běží zde algoritmy pro zpracování obrazu, jeho transformace a aplikace pro zobrazení jednotlivých typů prezentace. K počítači jsou prostřednictvím switche připojené jednodeskové programovatelné aktivní jednotky, které slouží ke sběru dat ze senzorů a ovládání projektorů. Přímo k počítači jsou také připojené prvky jejichž data jsou zde přímo zpracovávaná (mikrofon, hloubková kamera).

- Počítač - PC formátu mITX ve skříni o velikosti VxŠxH 181x222x285 mm
 - procesor Ryzen 3 3100
 - 8GB RAM
 - disk 250 GB SSD
 - GPU Radeon RX570 (2x HDMI výstup, 2x DP výstup)
 - připojení WiFi, Bluetooth
 - 2x USB-A 3.0 zepředu
 - 2x USB-A 3.1 vzadu
- Raspberry Pi4 4GB, 2x, Uctronics Gigabit USB-C PoE Splitter, připojení senzorů
- W5500 ATOM PoE s deskou ATOM Lite, 2x, připojení senzorů
- PoE, IEEE 802.3af, Switch 100Mbit 10-portový, Tenda TEF1110P-8-63W

3.5 Výstupní část - aktuátory

Výstupními prvky IPS je obrazová část a akustická část. Obraz IPS je tvořen dvěma projektoři, které jsou v aktuální verzi IPS použité tak, že každý je umístěn v jedné části boxu IPS, přičemž projektor umístěný v levé části vytváří pravou polovinu obrazu a projektor umístěný v pravé části vytváří levou část obrazu (viz obr. 3).

Jde tedy o zadní projekci na projekční fólii napnutou na rámu přední části boxu (dle výrobní dokumentace) a projektoři svítí křížem na vzdálenější polovinu projekční plochy. Obrazy z obou projektorů se překrývají o přibližně 4 pixely a tento překryv je kompenzován pomocí přechodové funkce, která je součástí zobrazovacího řetězce. Zobrazovací řetězec řeší současně vyrovnaní jasu v celé šířce obrazu a kompenzuje lichoběžníkovou deformaci obrazu.

Současná verze IPS z důvodu snížení finančních nákladů využívá levnější typ projektorů, u kterých je nutné pracovat s extrémními hodnotami deformací obrazu a to vyžaduje kompenzaci geometrickou i jasovou. Konstrukce IPS je ale navržena tak, aby bylo možné použít projektoři s menší ohniskovou vzdáleností (menší poměr vzdálenosti a šíře obrazu - throw factor) a tím zmenšit deformaci obrazu a snížit tak nároky na kompenzaci. Rovněž použití projekčního materiálu s větším difuzním faktorem může zlepšit optické vlastnosti systému.

Zapínání a vypínání projektorů je řešeno povelem z pomocných jednodeskových počítačů Raspberry Pi, které na základě signálu z hlavního počítače komunikují s projektoři pomocí protokolu CEC na HDMI port projektoru.

Akustický výstup je řešen dvěma aktivními reproduktory o výkonu 2x25 W zavěšenými uvnitř boxu IPS tak, aby nedocházelo ke zpětné vazbě s mikrofony a k nežádoucí rezonanci v konstrukci boxu IPS.

Použitá zařízení v současné verzi IPS jsou:

- Širokoúhlý projektor Optoma GT1080e,
- Reproduktory aktivní, 2.0 o výkonu 50W, frekvenční rozsah od 70 Hz do 20000 Hz, 3,5mm jack, 6,3mm jack, RCA (cinch)

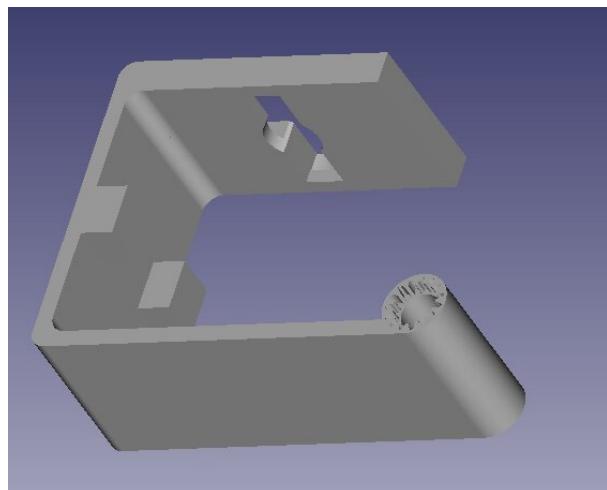
3.6 Kabeláž

Vzhledem k použití technologie PoE je komunikace uvnitř boxu IPS založena na použití ethernetové strukturované kabeláže, která umožňuje komunikaci na dostatečné vzdálenosti a umožňuje použití již hotových standardů. Ethernetové kably jsou vedeny po konstrukci boxu IPS tak, aby nekolidovaly s projekcemi a v místech spojů v konstrukci jsou přerušeny spojkami, tak aby se nemusely všechny spoje z konstrukce odstraňovat při transportu. V konstrukci je použito 6 x 3m ethernetových kabelů a sada tří ethernetových spojek.

Další kabeláž představují ploché kably pro připojení některých senzorů k aktivním prvkům Atom. Tyto kably jsou součástí jednotlivých senzorů. Aktivní prvky Atom sbírají data ze senzorů pomocí protokolu I2C, případně TTL, a proto jsou zde voleny krátké propojky se senzory (v tomto případě senzory pohybu). Dále jsou data transportována pomocí TCP-IP spojení po strukturované kabeláži do hlavního počítače. Další senzory (aktuálně senzory pro měření vzdálenosti a intenzity osvětlení) jsou připojeny ke Grove Raspberry Base HAT (rozdělovač portů/hub) též pomocí krátkých propojek v rámci systému Grove.

3.7 Mechanické díly pro osazení elektroniky

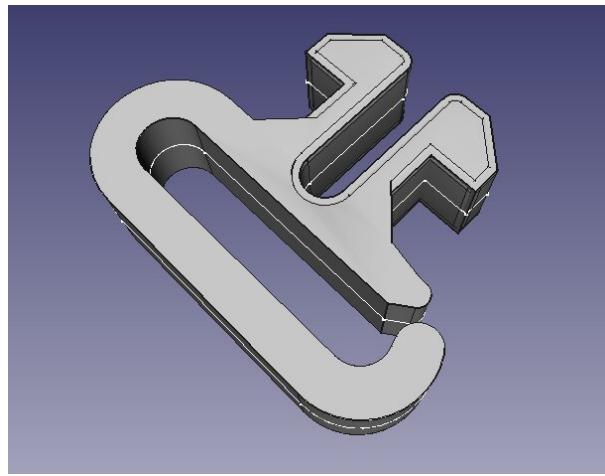
Pro uchycení jednotlivých senzorů ke konstrukci boxu IPS byly vymodelovány konzole, které je možné uchytit v drážkách ALU profilů konstrukce (obr. 7). Tyto konzole pak byly vyrobeny pomocí 3D tisku. Konzole se na konstrukci nasunují zevnitř boxu IPS na díl rámu obrazu tak, aby plochá část konzole byla vysunuta pod projekční fólií ven z obrysu obrazu a na ní pak mohl být nasazen držák pro senzor. Konzole je proti pohybu zajištěna otočením klipsy v drážce profilu.



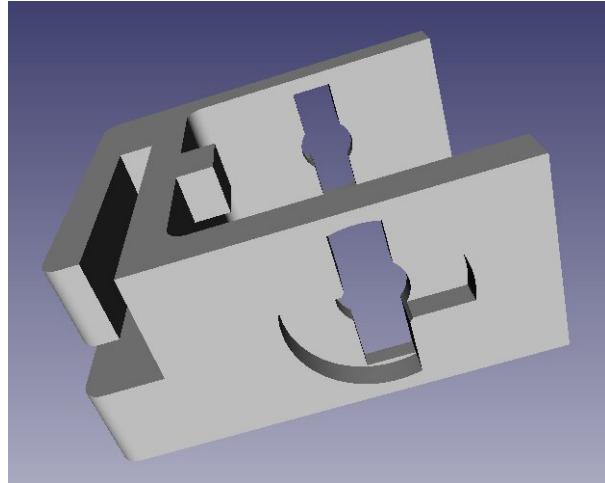
Obrázek 7 Konzole pro uchycení senzoru k profilu konstrukce IPS.

Pro ukotvení kabeláže byly vymodelovány a pomocí 3D tisku vyrobeny i klipsy umožňující rychlou montáž a demontáž kabelů (obr. 8). Klips se nasadí do drážky profilu konstrukce a otočí o 90 stupňů, čímž se zajistí v drážce. Očkem v klipse je pak možné vést kabel.

Pro umístění reproduktorů uvnitř boxu bylo využito volného zavěšení na kotvy (viz 9), které byly vymodelovány a vyrobeny pomocí 3D tisku. Modely úchytek pro 3D tisk jsou součástí přílohy této dokumentace.



Obrázek 8 Klips pro zajištění kotvících prvků v drážce profilu konstrukce IPS.



Obrázek 9 Kotva pro zavěšení reproduktorů a zajištění do drážky konstrukce IPS.

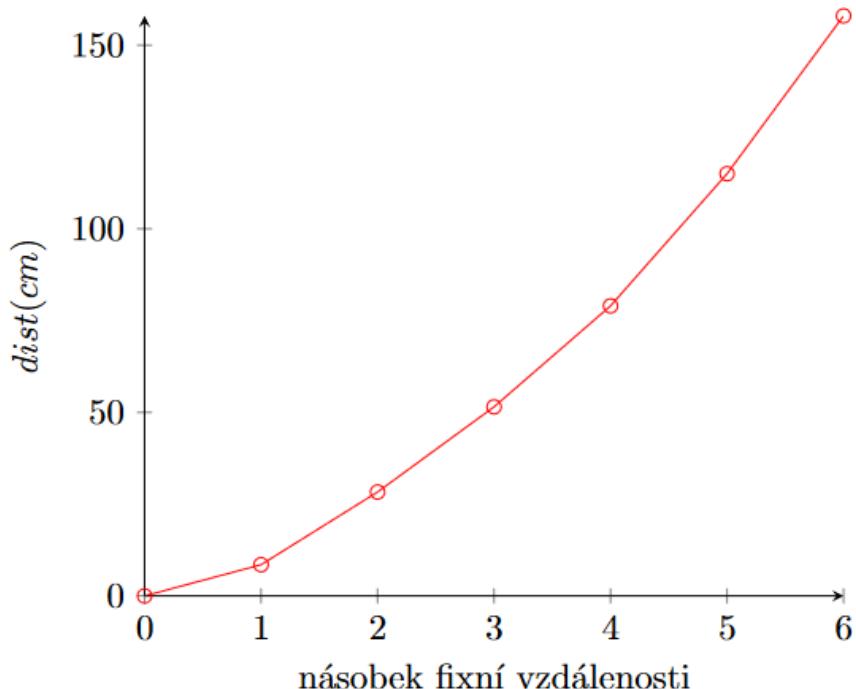
3.8 Software

3.8.1 Popis základního software

Základní software (firmware) řeší několik úloh současně a představuje centrální část řízení celé interaktivní projekční stěny.

První úlohou je **zobrazovací řetězec** včetně kompenzace geometrických a jasových deformací obrazu z projektorů a jejich napojování pomocí shaderů. Algoritmy v řetězci provádí geometrickou transformaci pomocí přeskálování obrazu na libovolný konvexní tvar s affinním zobrazením a korekci pokrivení obrazu na okrajích projekčního plátna pomocí kvadratického mapování s lineární částí, která byla odvozena experimentálně (viz vztah (1)). Koeficient A je určen na základě konfigurace projektorů. Druhý projektor používá transformaci stejnou, pouze je symetricky otočená.

$$x = \frac{x + x^A}{2} \quad (1)$$



Obrázek 10 Naměřená křivka deformace obrazu.

Originálně byly naměřeny hodnoty deformace obrazu, na jejichž základě je vytvořena křivka na obr. 10

V zobrazovacím řetězci dále probíhá korekce překryvu projektorů uprostřed plátna pomocí ztlumení okrajů obrazu (edge blending) a korekce barev pomocí úpravy kontrastu, saturace a jasu. Tyto změny jsou však je pro malé korekce, například 2 různé jasy projektorů není možné takto sladit.

Firmware dále vytváří běhové prostředí pro prezentace. Obsahuje implementace základních datových typů scén, které jsou implementovány jako scény v prostředí Unity 3D a slouží jako komunikační mezičlánek u 3D scény. Zde přeposílá data ze senzorů a ostatních stěn do 3D scény, přebírá data z 3D scény a přeposílá je ostatním zařízením a spravuje lifecycle 3D scény (start/stop procesu).

Firmware přijímá a vyhodnocuje informace ze senzorů a transformuje je na vstupní informace pro běžící prezentační balíčky. Komunikace zde funguje na systému událostí posílaných přes TCP spojení dle protobuf (viz [Google Protocol Buffers](#), definic. Tyto události jsou mapovány buď na akce pro běžící balíček dle konfigurace, nebo je scéna a skripty může číst přímo.

Firmware přeposílá akce a data ze senzorů ostatním zařízením (viz. sekce 3.9 vnitřní komunikace), řeší správu balíčků, stahuje nové balíčky a konfigurace a načítá a přepíná scény z balíčků. Firmware rovněž komunikuje se Správcem obsahu a řídí inicializaci IPS.

Hlavní počítač IPS běží na platformě Linux (distribuce Debian verze 11.1) a firmware je implementován v prostředí jazyka C# pomocí grafického prostředí Unity verze 2020.3.23f1. Sdílená část firmware, která nezávisí na Unity je také implementována v jazyce C# ve verzi .NET Standard 2.0 s ohledem na kompatibilitu s prostředím Unity. Novější verze .NET bude možné použít za předpokladu dostupnosti novějších verzí prostředí Unity nebo i jiných prostředí (Unreal apod.).

Na obou Raspberry Pi4 je instalována poslední verze systému Raspbian a firmware pro aktivní prvky Atom je implementován v jazyce C a kompilován v IDE Arduino.

3.8.2 Vnitřní komunikace

Vnitřní komunikace je založena na protokolu protobuf provozovaným přes *reliable multicast* síť mezi zařízeními. Momentálně se řeší pomocí TCP připojení mezi každým zařízením, kde zařízení posílají své zprávy všem ostatním, bez možnosti přeposílaní cizích zpráv s výjimkou 3D scény, kde je použitý tzv. event relay, kde jsou eventy předávány z řídící Unity aplikace do 3D scény která je samostatná. Tato aplikace přes stejné spojení pak deleguje svoje eventy řídící aplikaci, která je rozesílá dále.

Data jsou organizována jako události s určitým typem a daty, většinou buď podle typu zdrojového senzoru, nebo dle řetězce popisující akci v případě komunikace mezi zařízeními. Každý event reprezentuje buď akci nebo změnu dat ze senzoru a to jak pro diskrétní tak i spojitá data. Tyto eventy není nutné posílat přes síť, lze je využít i pro komunikaci v rámci jednoho zařízení. Pro sdílení dat ze senzorů a ze samotných zařízení je použit ten samý protokol přes stejné komunikační kanály.

K navázání těchto spojení dojde po načtení konfigurace z balíčku, který obsahuje adresy všech zařízení. V aplikaci je také připravena možnost implementací další úrovně komunikace, která by zajistila symetrické šifrování dat pomocí klíče specifikovaném v balíčku.

3.9 Ovládání projektorů přes Raspberry Pi

Ovládání projektorů je realizováno pomocí Raspberry Pi. Raspberry Pi naváže TCP spojení s IPS a výčkává na zprávu zaslanou pomocí protokolu Protobuf. Po přijetí příslušné zprávy si software vyžádá command line utilitu cec-utils, pomocí které protokolem HDMI-CEC zašle projektoru instrukci k zapnutí nebo přechodu do režimu standby.

3.10 Popis elektronické komunikace IPS s vnějším světem

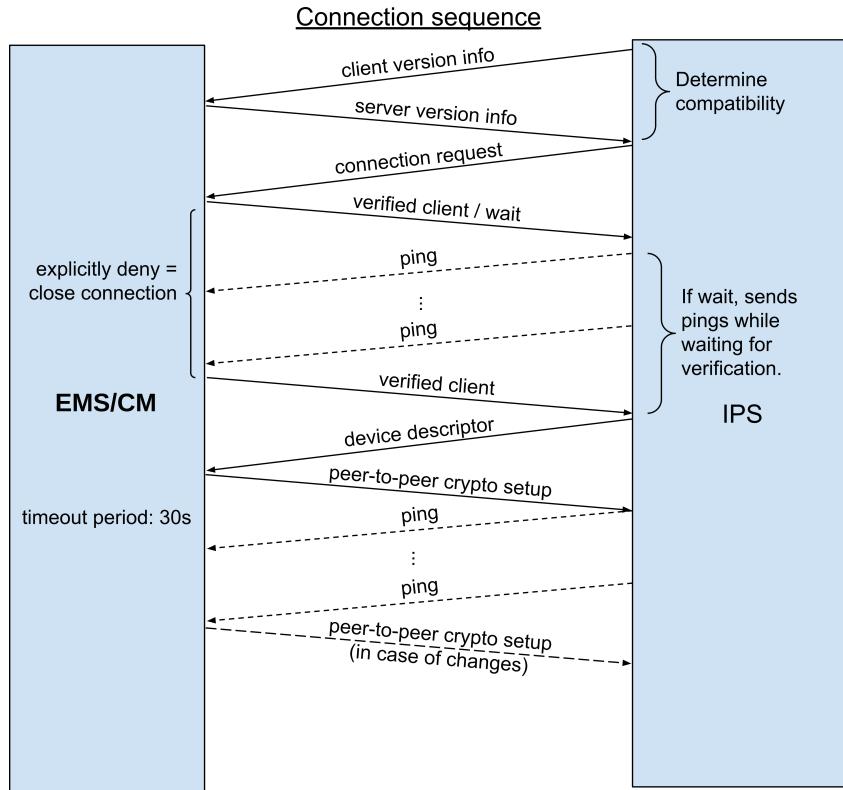
Po spuštění řídící Unity aplikace se IPW pokusí navázat spojení s řídícím content manager serverem. Po navázání spojení dojde k ověření identity zařízení přes webové rozhraní a následně se odešle konfigurace do IPW. Celý proces komunikace je znázorněn v následujícím diagramu (obr. 11).

Následně už IPW pouze komunikuje s připojenými senzory a další s ostatními lokálními zařízeními.

V rámci skriptů je možné navázat libovolné spojení s vnějším světem v závislosti na konektivitě sítě. Tato komunikace není nijak omezená a je čistě funkci C# standardní knihovny. Komunikace pomocí built-in Unity knihoven není oficiálně podporovaná.

3.11 Programátorská dokumentace

Dokumentace zdrojových kódů byla vytvořena v systému Doxygen a je dostupná [zde](#) a nebo v [repozitáři](#) projektu.



Obrázek 11 Schéma komunikace IPS se zařízeními připojenými k síti (např. předávání dat, synchronizaci, apod.).

4 Návod k sestavení a oživení

4.1 Sestavení projekčního boxu

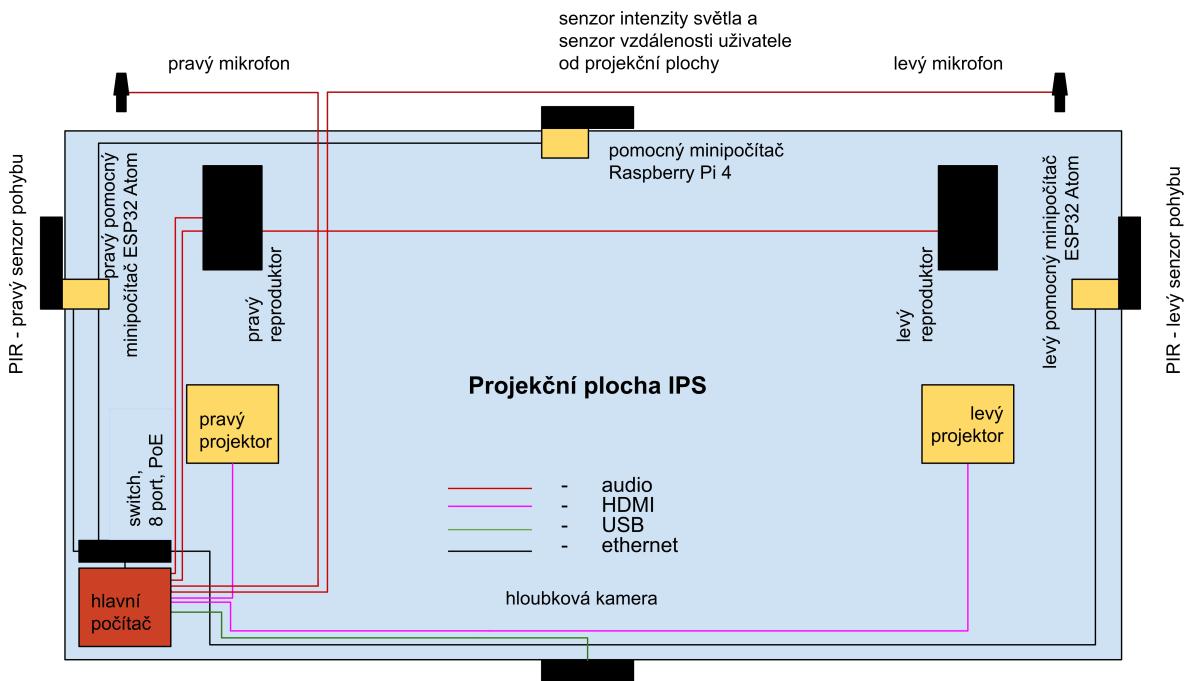
Sestavení konstrukce a opláštění boxu IPS je popsáno v samostatném dokumentu, který je součástí [přílohy dokumentace](#) nebo v [repozitáři](#) projektu.

4.2 Osazení zařízení, kabeláže a senzorů

Vedení ethernetové kabeláže po konstrukci boxu IPS vychází z umístění hlavního počítače. Ten je fixován v levém, dolním, zadním rohu boxu (v konfiguraci na šířku - landscape) tak, aby po změně do konfigurace na výšku (portrait) byl počítač v pravém, dolním, zadním rohu boxu IPS a byl tak stále přístupný. Počítač neobsahuje žádné mechanické součásti, a proto změna orientace jeho uložení není na závadu. Rozmístění ostatních aktivních prvků a kabeláže je zobrazeno na obr. 12.

Senzory jsou upevněny na plastových konzolích ve středu nebo v horní polovině obrazu. Hloubková kamera na středu spodního okraje obrazu, IR senzory pohybu na bočních okrajích obrazu, senzory vzdálenosti a intenzity světla ve středu horního okraje obrazu a mikrofony jsou připevněny na horní stěně boxu IPS tak, aby bylo možné je směrovat ke zdroji hluku.

Kably jsou vedeny po profilech zajištěné v klipsech do míst upevnění konzolí pro senzory, kde jsou osazené jednodeskovým minipočítačem Atom (IR senzory na bočních stranách) nebo Raspberry Pi (na horním okraji obrazu). O těchto prvcích vedou krátké propojovací kably vně boxu k senzoru.



Obrázek 12 Skutečné rozmištění senzorů a kabeláže v konstrukci boxu IPS.

4.3 Oživení a komunikace s IPS

4.3.1 Oživení

Po sestavení boxu IPS a osazení jednotlivých aktivních prvků, je možné IPS oživit podle následujícího postupu:

- Připojte do USB portu stěny klávesnici (ideálně bezdrátovou). Bude sloužit k provedení konfigurace a kalibrace IPS.
- Zapojte stěnu do elektrické sítě.
- Zapojte stěnu do počítačové sítě pomocí ethernetové přípojky (*Volitelný krok*).
- Stiskněte tlačítko ZAP/VYP.

Po provedení postupu naběhne firmware zařízení, který detekuje dostupné senzory, spustí projektoru a přejde do kalibrační aplikace se zobrazeným popisem ovládání. V tuto chvíli je stěna připravena ke kalibraci.

4.4 Kalibrace

Po naběhnutí systému je nutné nastavit kalibraci IPS. Kalibrace probíhá ve dvou fázích - fyzická kalibrace umístění projektorů a nastavení kompenzací ve zobrazovacím řetězci firmwaru. Postup kalibrace je následující:

1. První zobrazení IPS slouží k fyzické kalibraci umístění projektorů. Oba projektoru zobrazují dvě vertikální čáry a pět horizontálních. Čáry se překrývají a jsou barevně odlišeny.
2. Nastavte fyzické umístění projektorů tak, aby se po celé výšce stěny překrývaly celé krajní vertikální čáry obou projektorů. Horizontální čáry se musí překrývat v místech, kam svítí oba projektoru.
3. Pokračujte stiskem klávesy Enter, zařízení přejde ke kalibraci zobrazovacího řetězce.
4. Podle zobrazeného ovládání upravte nastavení zobrazovacího řetězce tak, aby krajní rohy obrazu které jsou označené křížky odpovídaly fyzickým rohům zařízení. Upravte

vnitřní rohy obrazu tak, aby se obraz uprostřed plátna lehce překrýval (v rámci jednotek pixelů).

5. Pokračujte stiskem klávesy Enter, zařízení přejde do režimu kalibrace překryvu projektorů.
6. Pomocí zobrazeného ovládání upravte sílu korekce pro jednotlivé projektorové aby překryv mezi projektorové nebyl viditelný.
7. Pokračujte stiskem klávesy Enter, zařízení přejde do režimu kalibrace barev.
8. Pomocí zobrazeného ovládání upravte vyvážení barev, jasu a kontrastu jednotlivých projektorů dokud nebude zobrazený testovací vzor vypadat stejně na obou částech obrazu.
9. Pokračujte stiskem klávesy Enter, zařízení přejde do režimu kalibrace virtuálního prostoru.
10. Pomocí zobrazeného ovládání upravte posunutí obrazu tak, aby zobrazený testovací vzor tvořil jednolitý obraz bez ostrých přechodů.
11. Pokračujte stiskem klávesy Enter, zařízení přejde do režimu nastavení sítě.
12. Zadejte adresu serveru Správce obsahu, která je zobrazena v rozhraní Správce obsahu.
13. Stisknutím klávesy Enter se konfigurace uloží a zařízení je připraveno na příjem prvního prezentačního balíčku. Pokud se chcete vrátit k libovolnému předchozímu kroku, stiskněte klávesu Backspace pro návrat o 1 krok.

Pokud chcete kalibraci zobrazení řetězce upravit nebo provést znova, držte při startu IPS stisklou levou či pravou klávesu **Ctrl**.

4.5 Inicializace a spouštění prezentačních balíčků

Prezentační balíček je možné nahrát na IPS následujícím způsobem:

1. Zapněte nakonfigurovanou IPS.
2. Ve Správci obsahu připravte balíček na nahrání do zařízení.
3. Ve Správci obsahu vyberte balíček k nahrání na cílové zařízení.
4. Ve Správci obsahu stisknutím tlačítka "Nahrát" se balíček přes síť nahraje do IPS a následně se spustí. Tento balíček zůstane na IPS uložený.
5. Zařízení je připraveno k prezentaci. Při každém dalším spuštění IPS se automaticky načte poslední nahráný balíček.

5 Přílohy

- Výrobní dokumentace pro vytvoření základní konstrukce boxu stěny.
- Návod na sestavení boxu projekční stěny.
- Dokumentace zdrojových kódů knihovny EMT SDK - dokumentace zdrojových kódů knihovny EMT SDK obsahující rutiny využívané firmwarem IPS.
- Zdrojové kódy komponent firmware IPS.
- Protokol o testování IPS.
- Modely pro 3D tisk.