

# Aplikace pro sběr hokejové telemetrie pro taktickou přípravu zápasu

Šimon Drda

23. listopadu 2025

## 1 Rešerše existujících řešení

V této kapitole provedeme rešerši existujících projektů a produktů, které se zabývají problematikou sběru hokejové telemetrie a jejího využití v praxi. Cílem je identifikovat mezery na trhu, porozumět potřebám uživatelů a zjistit, jaké funkce a vlastnosti jsou nejvíce žádané. Budeme se věnovat nejen samotným systémům, ale také jejich reálnému uplatnění.

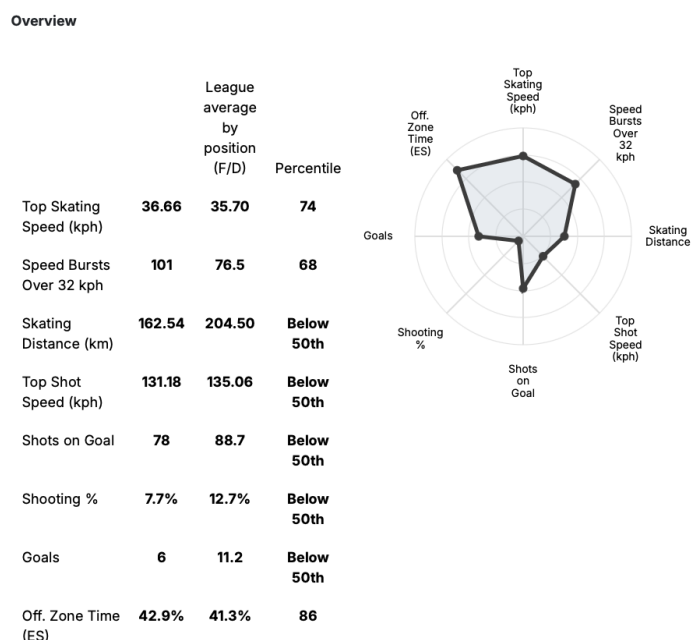
### 1.1 NHL Edge

NHL Edge je pokročilý systém sběru dat vyvinutý americkou firmou SMT, která pronikla s touto problematikou i do ostatních významných soutěží amerického fotbalu, basketbalu či motosportu.

Tento systém je založený na čípech umístěných ve dresech hráčů a v puku, které sledují jejich pohyb a interakce na ledě. Data jsou následně zpracována a prezentována veřejnosti, trenérům a analytikům prostřednictvím specializovaných softwarů.

Od roku 2023 je Edge dostupný i pro veřejnost prostřednictvím aplikace NHL nebo webové stránky, což umožňuje fanouškům přístup k detailním statistikám a analýzám konkrétních údajů. Jelikož chceme, aby náš projekt též poskytoval část pro veřejnost, analýza toho, co Edge nabízí a jaké funkce by mohly být přínosné i pro náš projekt, je nezbytná. Přístupné jsou pouze informace o hráčích v poli, brankářích a týmech, nikoliv o konkrétních zápasech nebo situacích. Informace jsou kombinací dat z čipů a manuálního označování událostí během zápasu.

- **Statistiky hráčů v poli:** Prezentační software umožňuje vybrat tým, následně hráče a zobrazit tyto statistiky: Největší vyvinutá rychlost, počet zrychlení nad 32 km/h, celková ujetá vzdálenost, nejrychlejší střela, počet střel, úspěšnost střelby, góly a procentuální pohyb v útočném pásmu.



Obrázek 1: Ukázka zobrazení statistik hráče v systému NHL Edge. Zdroj: Mathew Barzal, NHL Edge

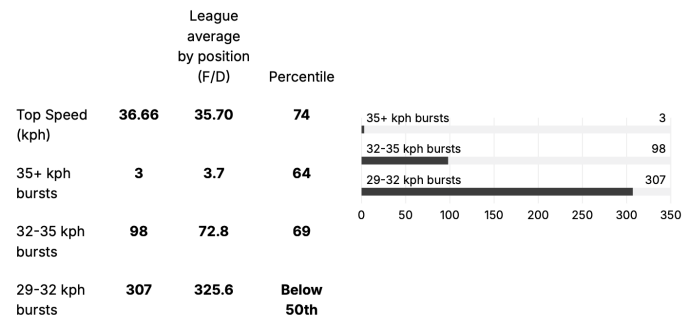
Dále jsou k dispozici detailnější statistiky bruslení, které uvádějí statistiky zrychlení v různých rychlostních pásmech.

Navíc lze zobrazit i podrobný rozbor ujeté vzdálenosti. Celkový počet ujetých kilometrů, počet ujetých kilometrů za 60 minut (standardní doba zápasu), nejlepší zápas z pohledu ujeté vzdálenosti a nejlepší třetina.

Uživatelé zde najdou také o rychlosti střel, které jsou opět rozděleny do rychlostních pásem. Nejrychlejší střela, průměrná rychlost střelby a počet střel v jednotlivých pásmech.

#### Skating Speed

Max speed measures the maximum sustained skating speed a player has achieved during the current season. Bursts measure the number of times a skater achieved a sustained speed above a given threshold. Results divided by positions groups (forwards, defensemen).



Obrázek 2: Ukázka zobrazení statistik bruslení v systému NHL Edge. Zdroj: Mathew Barzal, NHL Edge

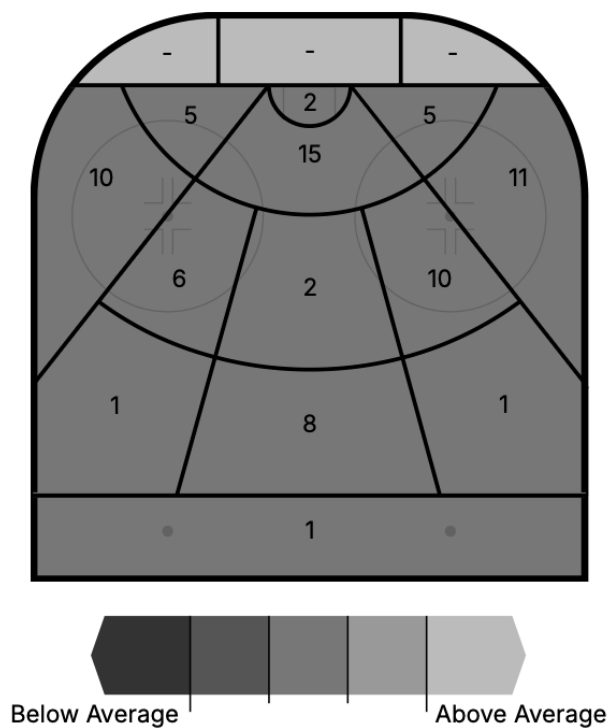
Další zajímavou informací je rozřazení střel podle místa jejich provedení. Na heatmapě je přehledně vidět, odkud hráč nejčastěji střílí. (Obrázek 3)

Poslední statistikou je rozdělení tzv. zone time neboli času stráveného v jednotlivých pásmech. Uživatel zde vidí, kolik procent času hráč strávil v obranném, neutrálním a útočném pásmu.

- **Statistiky brankářů:** U golmánu nemáme žádná data, která by pocházela z čipů, ale pouze klasické statistiky jako počet zákroků, procento úspěšnosti, počet inkasovaných gólů a počet vyhraných zápasů. Tyto statistiky se rozdělují do podrobnějších kategorií, ale z důvodu nevyužití čipů je nepovažuji za relevantní pro náš projekt.
- **Statistiky týmů:** Statistiky týmů zahrnují obdobné statistiky, které jsme viděli v hráčské kategorii, ale jsou prezentovány z pohledu celého týmu.

#### 1.1.1 Techniky sběru dat NHL Edge

Jelikož tato práce má za účel navrhnout i konkrétní techniku sběru potřebných údajů, nejen jejich vyhodnocování, je vhodné stručně nastínit metody sběru.



Obrázek 3: Ukázka zobrazení lokalit střel v systému NHL Edge. Zdroj: Mathew Barzal, NHL Edge

Systém Edge využívá čipy umístěné v dresech hráčů a v puku, jejichž signál je zachycován sítí 14 až 18 infračervených kamer rozmístěných kolem ledové plochy. Pohyb puku je zaznamenáván 60krát za sekundu, zatímco pohyb hráčů 15krát za stejný časový úsek.

Jedním z problémů této metody je potenciální blokáce signálu těly hráčů, což může způsobovat výpadky dat. SMT však tento nedostatek minimalizuje umístěním kamer do větší výšky a jejich dostatečným počtem. Je relevantní uvést problém detekovaný u ženského hokeje – culíky hráček částečně stínily čipy v dresech, což vedlo k chybovosti. Tento nedostatek byl vyřešen úpravou umístění čipů.

### 1.1.2 Komerční využití NHL Edge

Kromě statistik dostupných v aplikaci NHL Edge pro veřejnost, jedna z oblastí, kde se aktivně využívají sesbíraná data, je televizní přenos. Zejména se jedná o zobrazení rychlosti střel, polohy hráčů, délky jejich střídání a jejich jména.

Zajímavostí je NHL Hockeyverse, což je animovaný 3D model zápasu, který využívá sesbíraná data. NHL takto prezentuje několik vybraných zápasů pro dětské diváky.

### 1.1.3 Využití NHL Edge trenéry a analytiky

Data z NHL Edge nejsou trenérům a analytikům poskytována přímo, ale prostřednictvím aplikací a nástrojů partnerů NHL, především SMT a SAP. Oficiálním rozhraním pro týmy je *SAP Coaching Insights App for iPad*, která kombinuje data z NHL Edge (sledování hráčů a puku) s oficiálními herními statistikami NHL. Podle informací SMT lze data vizualizovat v reálném čase na taktických tabulích (*whiteboard*), přehrávat záznamy z předchozích zápasů a analyzovat je pomocí nástrojů, jako jsou heatmapy střel, trajektorie pohybu hráčů a puku nebo individuální i týmové statistiky. Tyto funkce mají pro trenéry zásadní význam v taktické přípravě – například na základě heatmap soupeře lze identifikovat nebezpečné střelecké zóny, nebo podle analýzy trajektorií plánovat forčeking a obranné formace.

### 1.1.4 Kritické zhodnocení veřejné prezentace NHL Edge

Ačkoli je NHL Edge technologicky vespělý systém s obrovským množstvím dat, jeho využitelnost má několik zásadních omezení:

- **Zaměření na fanoušky:** Veřejná verze je primárně orientována na prezentaci dat pro fanoušky a média, nikoli na potřeby trenérů. Taktické funkce jsou dostupné pouze v interních nástrojích, ke kterým běžní uživatelé nemají přístup.
- **Chybějící kontext:** Systém pro veřejnost poskytuje velké množství číselných údajů, ale jen málo z nich je zasazených do kontextu konkrétní

herní situace. Například víme, že hráč dosáhl maximální rychlosti 36 km/h, ale není zřejmé, jak tato informace souvisí s efektivitou jeho presinku či úspěšností vstupu do útočného pásma.

- **Neúplná data o brankářích:** Statistika brankářů je velmi omezená a nezahrnuje detailní prostorové analýzy zákroků, což je pro přípravu přesilovek či střeleckých strategií zásadní. Tato mezera výrazně snižuje celkovou hodnotu systému pro taktické plánování.
- **Absence zápasů:** Veřejná verze neposkytuje možnost analyzovat konkrétní zápasy nebo situace, což omezuje její využitelnost pro hlubší analýzu a taktický rozbor veřejností.

Z těchto důvodů lze říci, že NHL Edge představuje vynikající zdroj surových dat, ale pro veřejnost postrádá většího využití než jen pro zábavu fanoušků.

## 1.2 Catapult Sports

Dalším významným hráčem na poli sportovní telemetrie je společnost Catapult Sports, která nabízí řešení pro různé sporty včetně hokeje. Přímé využití pro taktické plánování je ale omezené, zaměřují se spíše na kondici a prevenci zranění. Jejich systém využívá GPS a akcelerometry, umístěné do speciální podprsenky. Oproti NHL Edge Catapult neumožňuje přístup k datům veřejnosti.

### 1.2.1 Aplikace pro zpracování dat Catapult Sports

Catapult poskytuje pro hokej 3 druhy softwaru. Tím, který zpracovává nasnímaná data z podprsenek, je Vector. Dále provozují softwarové systémy Thunder a Pro Video, které slouží pro video analýzu a vizualizaci dat.

Pro Video nabízí možnost připojení telemetrických dat ze systému Vector, je tedy možné synchronizovat videozáznam s aktuálními metrikami. Dle dostupných zdrojů zde ale není detailní zaměření na zobrazování dat pro hokej, nevyskytuje se zde žádné 2D hřiště, které by pro trenéra poskytovalo stejný pohled jako taktická tabule. To znamená, že

ačkoliv Catapult dobře podporuje kondiční přípravu a prevenci zranění, jeho přímý přínos pro taktickou přípravu zápasu je omezený.

### 1.2.2 Techniky sběru dat Catapult Sports

Samotné senzory fungují, stejně jako u NHL Edge, na principu LPS, tedy lokalizačního systému vnitřního prostoru nazývaný ClearSky, který využívá rádiové vlny. Systém je schopen snímat polohu hráče s přesností na 10 cm a zaznamenává data s frekvencí 10 Hz. Senzory jsou vybaveny akcelerometry, gyroskopy a magnetometry, které umožňují měřit různé aspekty pohybu hráče, jako je rychlost, zrychlení, skoky a změny směru. Z dostupných informací plyne, že zařízení Vector 8 (nejnovější model modulu, který se umístí do podprsenky) disponuje bezdrátovou komunikací UWB i Bluetooth. Pro venkovní snímání oproti minulé verzi modulu Vector S7 je možné využít i GNSS (Global Navigation Satellite System - obecný termín pro globální navigační satelitní systémy, které pomocí satelitů určují polohu zařízení na Zemi).

Pokud se zaměříme na realizaci sběrového systému, který data z UWB sensoru přijímá, zjistíme, že ClearSky vyžaduje tzv. kotvy ClearSky [7], které se musí napevno nainstalovat v místě sledování. Existuje možnost využít pouze jednu kotvu pro sledování inerciálních dat (zrychlení, skoky, změny směru), ale nikoliv pro určení polohy. Zajímavostí je, že kotvy pracující v pásmu UWB (ultra-wideband) na pásmech 4GHz a 6,5GHz, jsou rušeny 5G signálem a WiFi 6E. To při rostoucím trendu nasazování těchto technologií bude v blízké budoucnosti představovat problém pro firmu Catapult Sports, která bude muset své produkty přizpůsobit. Pražská O2 arena, kde hraje své domácí zápasy tým HC Sparta Praha, zavedla podporu 5G sítě v roce 2024 [6], což pro případnou implementaci systému Catapult Sports omezuje výběr pásem pouze na 6,5GHz.

## 1.3 Kinexon Sports

Třetím konkurentem kterého uvedeme do podvědomí je německá firma Kinexon Sports sídlící v Mnichově. Ze zmíněných tří firem je nejméně známa, ale i přesto její služby využívají věhlasné kluby jako Eisbären

Berlin nebo New York Rangers. Kinexon nabízí podobný systém jako Catapult, tedy senzory připojené přes UWB s 10 centimentrovou přesností a latencí 100ms. Narozdíl od jejich druhého produktu Kinexon Perform IMO, které slouží k plug and play sledování omezených metrik bez nutnosti přizpůsobení prostředí, vyžaduje Kinexon Perform LPS, který je nutný pro hokej, podobné kotvy jako v případě Catapult Sports. Teoreticky by podle nich měly stačit 3 kotvy, ale doporučují se minimálně 4.

Kinexon nabízí software, který je kombinací vizualizace dat vykreslených na whiteboard a manuálně zadávaných událostí. Z pohledu taktické přípravy může Kinexon trenérům poskytnout detailní pohybová data hráčů, ale bez sofistikovaného softwaru pro vizualizaci herních situací zůstává jeho využitelnost pro přípravu strategie omezená.

## 1.4 Drive Hockey

Drive Hockey představuje moderní systém určený pro sledování hráčů pomocí nositelných senzorů a zpracování telemetrických dat v reálném čase. Jeho cílem je poskytnout trenérům i hráčům nástroje pro analýzu výkonu, herního stylu a efektivity pohybu. Podle výrobce je možné systém zprovoznit během 15 minut, přičemž dokáže sledovat až 30 hráčů na ledě a dalších 50 na střídačce. Drive Hockey Player Tracking System využívá senzory umístěné na výstroji hráčů, které přenášejí data o rychlosti, akceleraci, trajektorii pohybu a interakci hráčů s pukem.

Z pohledu funkcí se Drive Hockey přibližuje našemu návrhu více než většina konkurence. Nabízí přehledy individuálních i týmových výkonů, heatmapy, přehrávání klíčových situací (*replay*) a možnost označování důležitých momentů v zápase. Platforma rozlišuje přístupová práva – hráči mohou přistupovat ke svým vlastním datům, trenéři mají k dispozici přehled celého týmu. Tento princip odpovídá i návrhu naší aplikace, která rovněž počítá s uživatelským rozhraním pro oba typy uživatelů.

Z technického hlediska není zcela jasné, zda Drive Hockey využívá UWB, nebo jinou formu bezdrátové lokalizace. Výrobce však uvádí, že systém umožňuje sledování v reálném čase a zobrazení dat v grafické podobě – například prostřednictvím 2D pohledu na led. Nabízí rovněž export dat a statistik, i když bez plně integrovaného video exportu.



## 1.5 Helios

Helios Hockey je systém zaměřený spíše na individuální výkon hráče než na týmovou taktiku. Senzor s názvem *Core Performance Sensor* se připevňuje na ramenní chránič a měří bruslení, výbušnost, zrychlení a další parametry. Helios Hockey poskytuje aplikaci pro mobilní zařízení, která hráči umožňuje přehledně sledovat vývoj svých metrik v čase a porovnávat je s ostatními. Systém také synchronizuje senzorová data s videozáznamy, čímž lze analyzovat konkrétní momenty zápasu.

Zaměření Heliosu je výhradně individuální — neumožňuje zobrazení celé ledové plochy, pohybu všech hráčů ani taktickou vizualizaci. Pro tréninkové účely, zejména pro zlepšování bruslařských a střeleckých dovedností, však poskytuje užitečné přehledy o rychlosti, stabilitě a rovnováze. Tím se výrazně liší od řešení, která pracují s kompletní týmovou dynamikou (např. NHL Edge nebo Kinexon).

## 1.6 Srovnání řešení

Na základě provedené rešerše lze jednotlivé systémy srovnat podle technických i funkčních aspektů. Tabulka 1 uvádí přehled klíčových vlastností pěti vybraných produktů ve srovnání s návrhem našeho systému.

Tabulka 1: Srovnání existujících systémů pro sběr a analýzu hokejové telemetrie

Funkce / systém	NHL Edge	Catapult	Kinexon	Helios	Drive Hockey
UWB lokalizace hráčů/puku	Ano (čip + IR kamery)	Ano (ClearSky LPS)	Ano (UWB kotvy)	Ne	Nejasné (ano – senzory)
IMU / akcelerometry	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Zaměření	Fanouškovská prezentace	Kondiční příprava	Kondiční a výkonová analýza	Individuální výkon	Taktická analýza
Registrace hráčů / senzorů	Ne (interní)	Ano	Ano	Ano	Ano
2D vizualizace pohybu	Částečně (NHL Hockeyverse)	Ne	Částečně	Ne	Ano
Heatmapy	Ano (střely)	Ne	Částečně	Ne	Ano
Klíčové momenty / replay	Ne	Ne	Částečně	Ano (video + data)	Ano
Přístup hráče k vlastním datům	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano
Export videa / animace	Ne	Částečně (Pro Video)	Ne	Ano (video synchronizace)	Ano (replay/export)
Taktická příprava zápasu	Omezené (interní aplikace)	Ne	Omezené	Ne	Ano

Z tabulky vyplývá, že:

- **NHL Edge** představuje technologicky nejvyspělejší systém v oblasti kombinace čipů a kamer, ale jeho veřejná verze je zaměřená spíše na fanoušky.
- **Catapult** a **Kinexon** dominují v oblasti kondiční přípravy, nikoli taktické analýzy.

- **Helios** se specializuje na individuální měření výkonu hráče, nikoli týmovou dynamiku.
- **Drive Hockey** je ze všech komerčně dostupných produktů nejbližší navrhovanému řešení – kombinuje metriky výkonu, replay, heatmapy a uživatelský přístup hráčů i trenérů.

Z tabulky lze vyčíst, že je nutné při návrhu našeho systému přinést výhody navíc, které by zlepšily uživatelský komfort a funkčnost. V následujících 2 kapitolách budou postupně navrhovány technologické a uživatelské řešení s ohledem na zjištěné nedostatky existujících systémů, zejména Drive Hockey.

## 1.7 Návrh nových funkcionalit

Oproti systému *Drive Hockey*, který se zaměřuje především na analýzu výkonu a statistické přehledy, je cílem navrhovaného řešení nabídnout trenérům i hráčům interaktivní nástroj pro taktickou přípravu [3, 4]. Následující tabulka shrnuje nové funkcionality, které rozšiřují možnosti systému.

Tabulka 2: Srovnání funkcionalit s Drive Hockey

Funkce	Popis	Rozdíl oproti Drive Hockey
Taktický režim	Interaktivní 2D vizualizace pohybu hráčů a puku s možností simulace a pozastavení průběhu [8].	Drive Hockey nabízí pouze přehrávání bez interakce a anotací.
Whiteboard s Apple Pencil	Možnost zakreslování taktických situací přímo do vizualizace, tvorba tréninkových scénářů [1].	Drive Hockey nepodporuje nativní kreslení ani scénářové plánování.
Automatická detekce událostí (AI)	Heuristická analýza pro automatické rozpoznávání typů akcí a taktických vzorců [3].	Drive Hockey vyžaduje ruční označení.
Offline režim s lokální databází	Možnost plného využití aplikace bez připojení během zápasu, následná synchronizace po návratu online [2].	Drive Hockey vyžaduje trvalé připojení.

## 2 Návrh struktury aplikace

Na základě provedené rešerše je zřejmé, že existující systémy pro sběr a analýzu hokejové telemetrie, jako například *Drive Hockey*, poskytují základní analytické nástroje, avšak s omezenými možnostmi vizualizace a interakce

během hokejových událostí (zápas, trénink). Vzhledem k tomu, že trenéři a asistenti využívají na střídačkách převážně tablety iPad, bylo cílem návrhu vytvořit systém, který umožní plynulé a přirozené ovládání v dotykovém prostředí, včetně možnosti práce s taktickými prvky v reálném čase.

## 2.1 Rozsah implementace a vymezení vůči zadání

Navržená aplikace vychází ze zadání, avšak některé části jsou upraveny s ohledem na praktickou proveditelnost, dostupnost technologií a potřebu generovat testovací data.

**Vynechané části zadání** Z původního zadání je vypuštěna přímá integrace reálných UWB senzorů včetně jejich živého streamování. Reálné UWB systémy (např. Catapult, Kinexon) nejsou veřejně dostupné a jejich implementace přesahuje rámec bakalářské práce. Oproti jiným sportům hokejové ligy neposkytují svá nasbíraná data ani pro univerzitní prostředí. Proto není realizována ani autentická UWB triangulace, ani nízkoúrovňová komunikace se senzory.

**Doplněné části návrhu** Namísto přímé práce s UWB hardwarem je využita kombinace tří mechanismů:

1. **Import telemetrie ze souboru** ve vlastním formátu `.puck` (založený na JSON). Tento formát představuje simulovaný export, který by v budoucnu generoval skutečný UWB systém. Aplikace by tedy měla být do budoucna připravená pro data v reálném čase. V další kapitole si navrhujeme strukturu tohoto formátu.
2. **Zpracování videa pomocí modulu *VideoProcessor***. Tento modul převádí videozáznam na sadu pozic hráčů a puku v čase. Pro detekci objektů na hřišti je použit veřejně dostupný dataset a model **HockeyAI** [5], publikovaný v rámci *ACM Multimedia Systems Conference 2025*.

Model poskytuje anotace a detekci hráčů, puku a kruhů pro vhazování ve formátu `(.ptmodel)` vhodném pro následnou projektivní transformaci do souřadnic hřiště. Vzhledem k absenci reálného UWB systému plní tento modul funkci **generátoru testovacích telemetrických dat**, která jsou následně využita pro výpočet statistik, heatmap a vizuální analýzy.

3. **Uživatelské párování senzoru.** Každý uživatel může zadat ID senzoru, který vlastní nebo nosí. Pokud se během zpracování události v importovaných datech vyskytne odpovídající sensor ID, aplikace automaticky propojí hráče a uživatele. Tím hráč získá přístup ke všem událostem, v nichž se senzor objevil.
4. **Organizování dat do projektů.** Veškerá importovaná telemetrie (ať už pochází ze souboru `.puck`, nebo je vygenerována z videa) je organizována do samostatných **projektů**. Tímto je detailněji přeprocován bod zadání vytváření událostí bereme-li v potaz nemožnost získání UWB dat v reálném čase. Projekt představuje kontejner, který sdružuje:
  - telemetrická data události,
  - odkazy na vygenerovaná videa,
  - taktická schémata a anotace,
  - nastavení vizualizace,
  - metadata o týmové události (zápas, trénink).

Tato struktura umožňuje uživateli pracovat s daty izolovaně, vytvářet více nezávislých analýz, archivovat zápasy a exportovat výsledné výstupy bez nutnosti modifikovat surová telemetrická data.

Párování provádí komponenta *SensorPairingService*, která propojuje objekty *User*, *Player* a *SensorAssignment*. Toto řešení je plně kompatibilní s budoucím rozšířením o skutečné UWB senzory.

### Výhody tohoto přístupu

- eliminuje nutnost pracovat s drahými proprietárními UWB systémy,
- umožňuje generovat testovací data výhradně z videa,
- umožňuje nahradit chybějící UWB hardware open-source modelem HockeyAI,
- zajišťuje splnění zadání v oblasti práce s „virtuálními senzory“,
- zachovává strukturu aplikace tak, aby bylo možné později připojit reálný UWB backend.

**Zachované a implementované části zadání** Plně implementačně pokryté moduly:

- správa uživatelů, hráčů, týmů a přiřazení senzorů,
- správa událostí (zápasy, tréninky),
- import telemetrie a převod videa do telemetrických dat (pomocí modelu HockeyAI),
- generování statistik (např. nejvyšší rychlost, nejtvrdší střela),
- heatmapy nad vybranými metrikami,
- detekce klíčových momentů (gól, kolize, únik, změna momentum),
- 2D vizualizace hráčů i puku a zpětné přehrání událostí,
- export vybraných částí animace do videa pomocí AVFoundation,
- tvorba taktických anotací pomocí Apple Pencil.

Díky propojení uživatel–senzor–hráč je navíc možné zvýšit komfort hráčů: v animaci se zobrazuje **hokejové číslo hráče** (atribut `jerseyNumber` ve vizualizační třídě `PlayerNode`). Toto je avšak vymoženost pouze pro ruční testování přes plnění `.puck` souborů, jelikož model pro rozpoznání polohy hráče není vyučen pro rozpoznávání čísel na dresích hráčů.

## 2.2 Struktura aplikace

Aplikace je navržena jako modulární architektura rozdělená do několika vrstev:

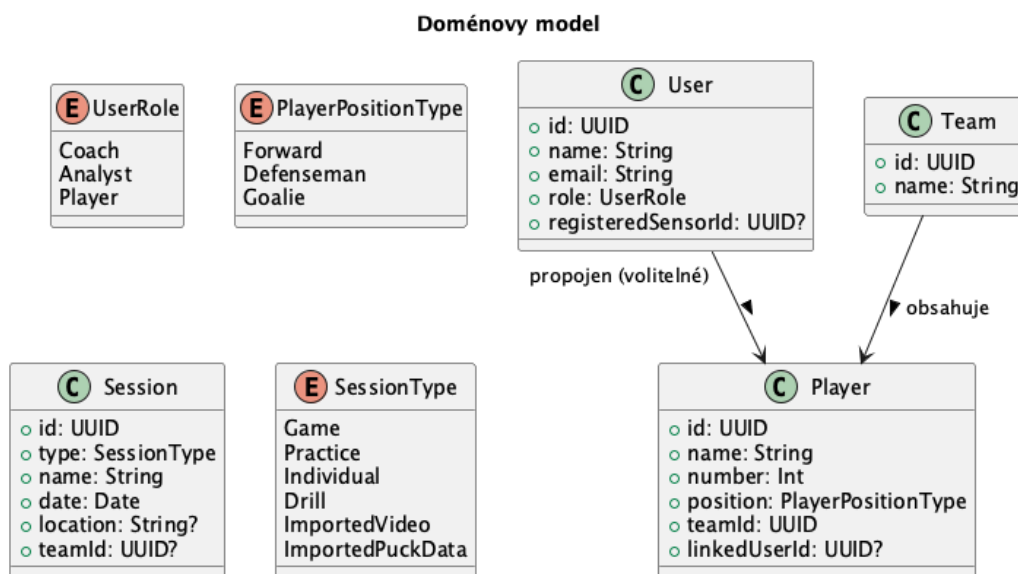
- **Doménová vrstva** – definice uživatelů, hráčů, týmů, událostí a senzorů.
- **Senzorová vrstva** – přiřazování senzorů hráčům a automatické párování uživatelů.
- **Telemetrická vrstva** – data hráčů a puku v čase.
- **Projektová vrstva** – ukládání projektů, anotací a importovaných dat.

- **Video AI vrstva** – detekce hráčů a puku pomocí modelu HockeyAI a převod do souřadnic hřiště.
- **Analytická vrstva** – výpočet statistik, heatmap a klíčových momentů.
- **Replay vrstva** – 2D animace hráčů a puku, taktické kreslení a export videa.
- **Prezentační vrstva** – ViewModely a UI kontrolery (MVVM).

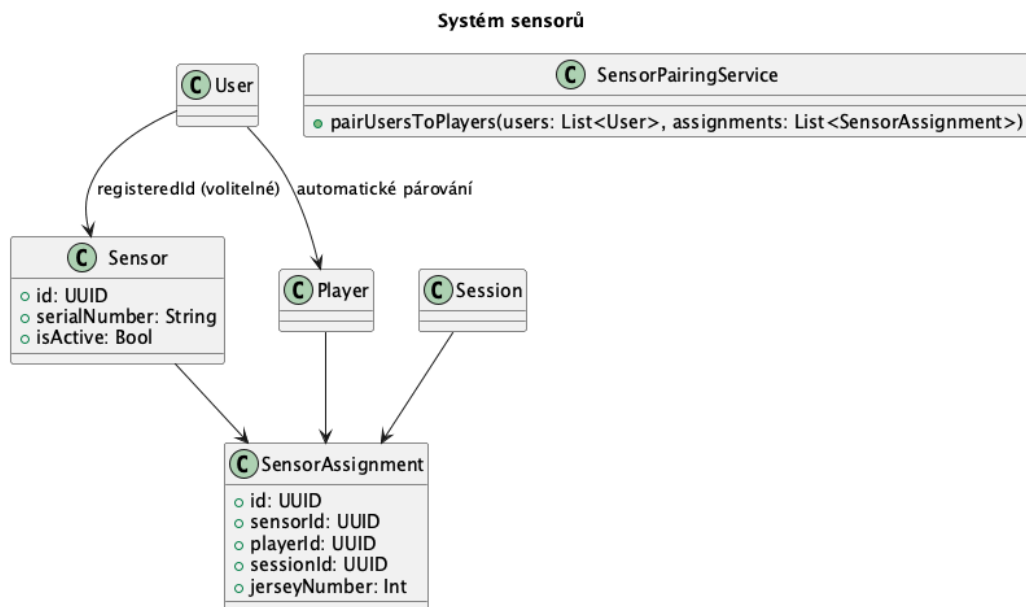
## 2.3 Class diagramy jednotlivých vrstev

Kompletní diagram je rozdělen do menších částí pro vyšší čitelnost a snadnější orientaci. Každý dílčí diagram reprezentuje jednu logickou vrstvu aplikace.

### 2.3.1 Doménový model



Obrázek 4: Doménový model – uživatelé, hráči, týmy a události.



Obrázek 5: Model senzorů a automatického párování uživatelů.

### 2.3.2 Senzorový model

### 2.3.3 Telemetrický model hráčů a puku

### 2.3.4 Projektový model

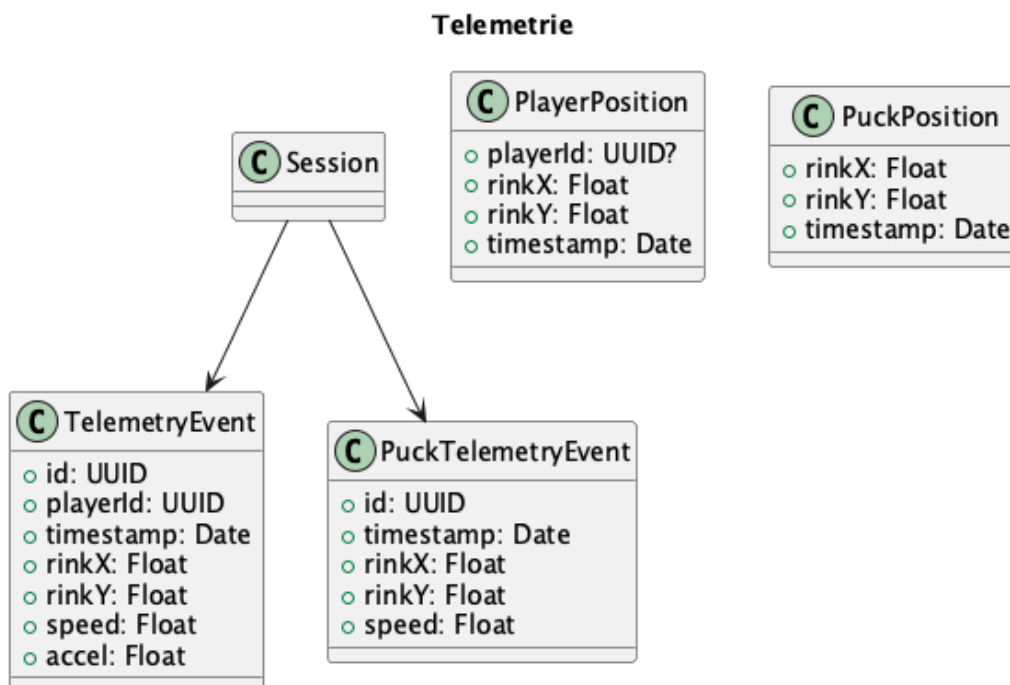
### 2.3.5 Video AI vrstva

### 2.3.6 Taktické scénáře

### 2.3.7 Taktické anotace

### 2.3.8 Replay vrstva

### 2.3.9 Prezentační vrstva (MVVM)



Obrázek 6: Telemetrie hráčů a puku.

## 2.4 Vývojové prostředí

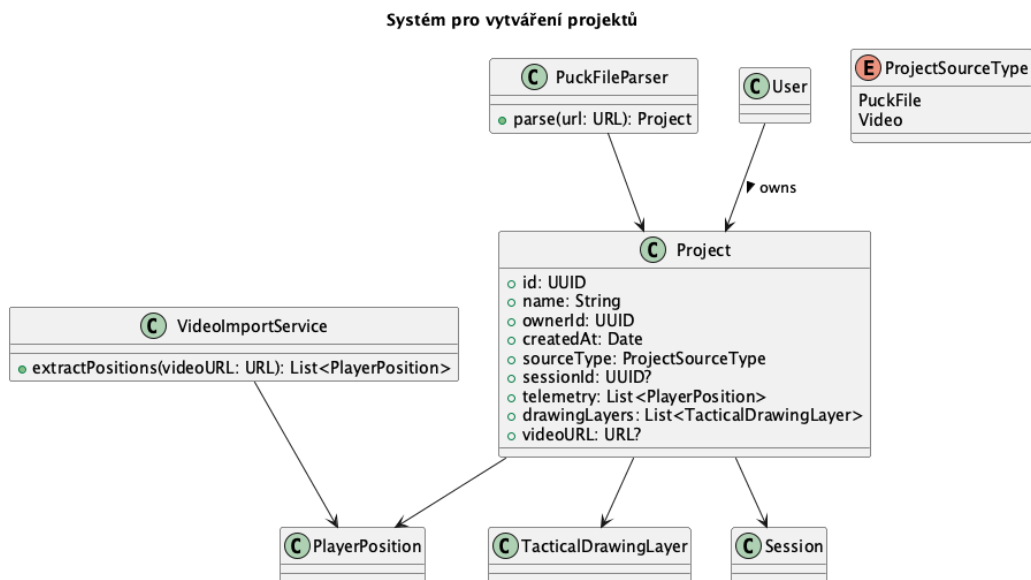
Pro implementaci navržené aplikace je vhodné zvolit technologický stack založený na nativním vývoji pro platformu iOS, který umožňuje:

- efektivní vizualizaci 2D animací (SpriteKit),
- práci s videem a export (AVFoundation),
- integraci modelů strojového učení (Core ML, Vision),
- podporu dotykového ovládání a stylusu Apple Pencil (UIKit).

### Použité nástroje:

- **Xcode 26** – hlavní IDE pro vývoj aplikací v jazyce Swift pro iOS 26.
- **Swift 6.2** – primární programovací jazyk.





Obrázek 7: Model projektů, importu dat a taktických vrstev.

- **SpriteKit** – engine pro 2D vizualizaci pohybu hráčů a replaye.
- **UIKit** – tvorba UI a podpora Apple Pencil.
- **CoreML + Vision** – detekce hráčů a puku pomocí modelu HockeyAI.
- **AVFoundation** – export animací do videa.
- **Core Data** – lokální úložiště telemetrie a projektů.
- **PlantUML** – generování class diagramů.

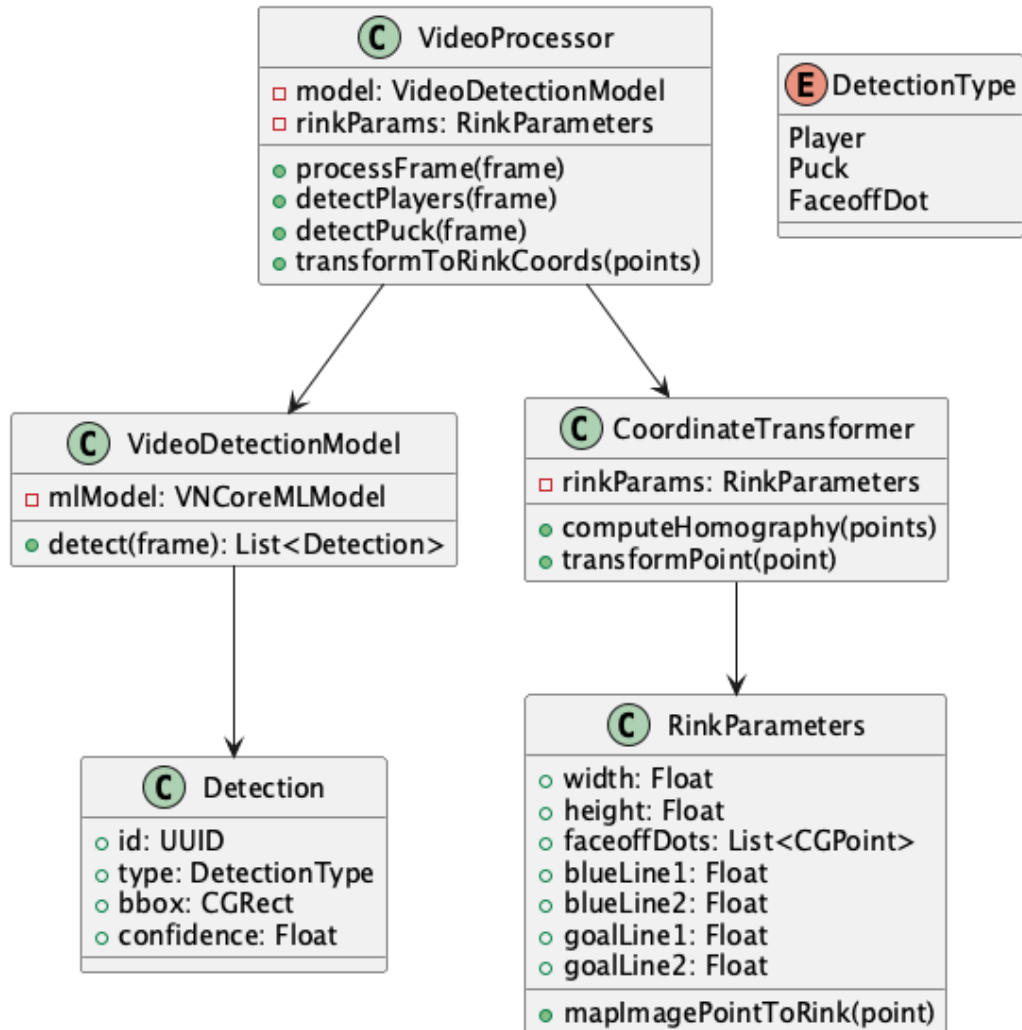
**Podpora testování** Testování bude probíhat především nad syntetickými daty generovanými modulem **VideoProcessor**. Dále budou využity:

- integrační testy nad výpočtem statistik,
- testy přesnosti heatmap,
- vizuální testy replaye a taktických anotací,
- validace spárování hráčů podle senzorů.

## 2.5 Shrnutí

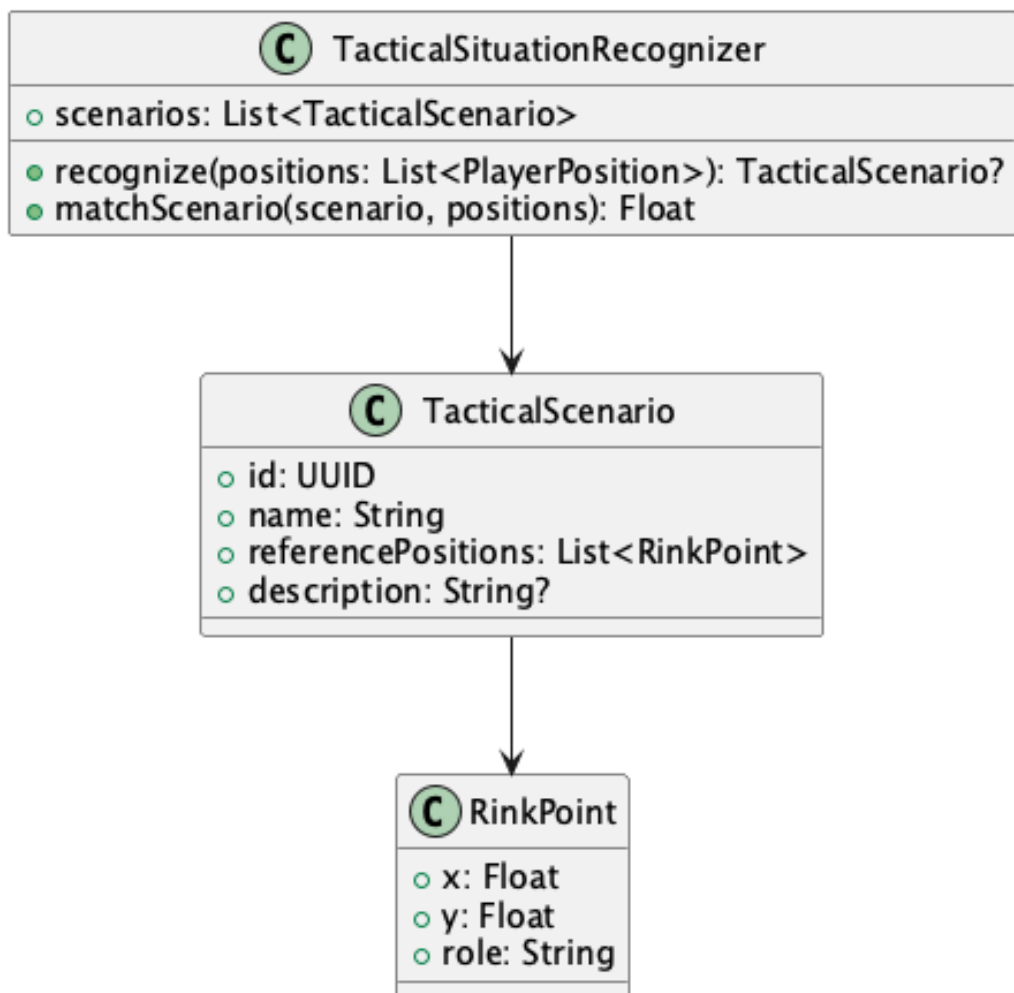
Návrh splňuje zadání tím, že poskytuje kompletní platformu pro správu telemetrických dat z hokejových senzorů a umožňuje vizualizaci, analýzu i taktické vyhodnocení herních situací. Přestože není realizována komunikace s reálnými UWB senzory, aplikace nabízí alternativní mechanismus uživatelského párování senzoru, který pokrývá funkční požadavky zadání a zároveň umožňuje generovat testovací data prostřednictvím videoanalýzy využívající open-source model HockeyAI. Výsledná architektura je modulární, rozšiřitelná a připravená na budoucí integraci reálných UWB systémů.

## Systém pro zpracování dat z videa pomocí Machine Learning modelu



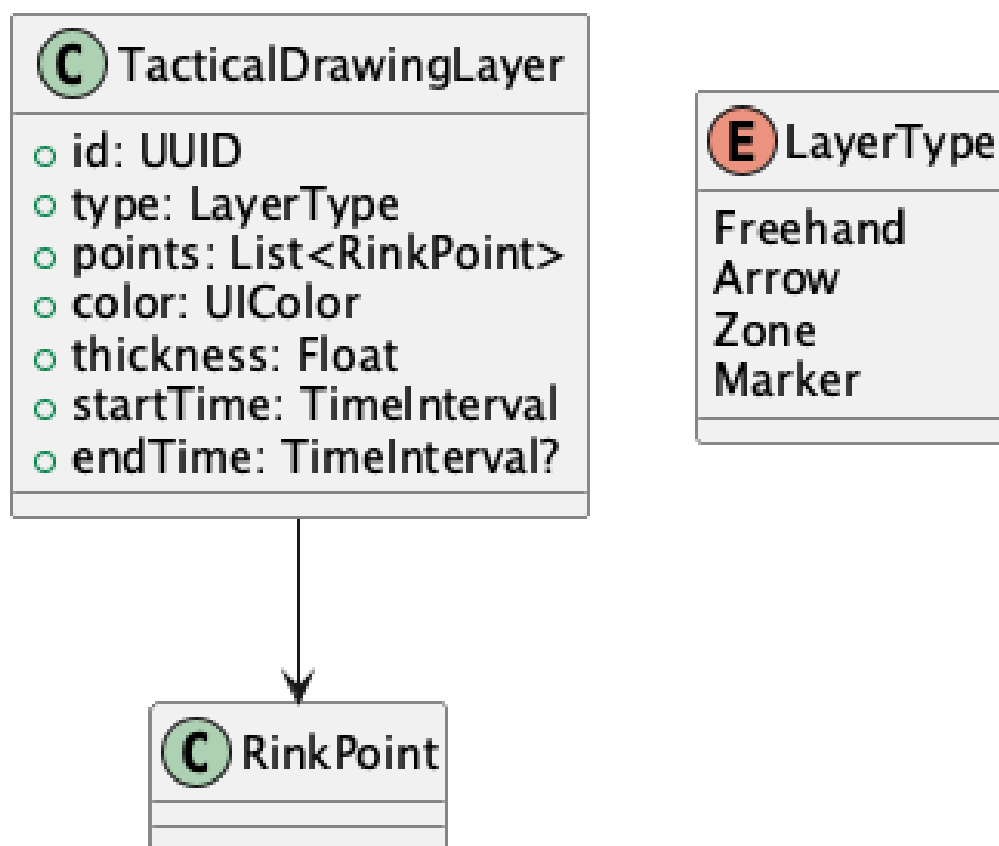
Obrázek 8: Převod videa na telemetrii pomocí modelu HockeyAI a projek-  
tivní transformace.

## Taktické scénáře

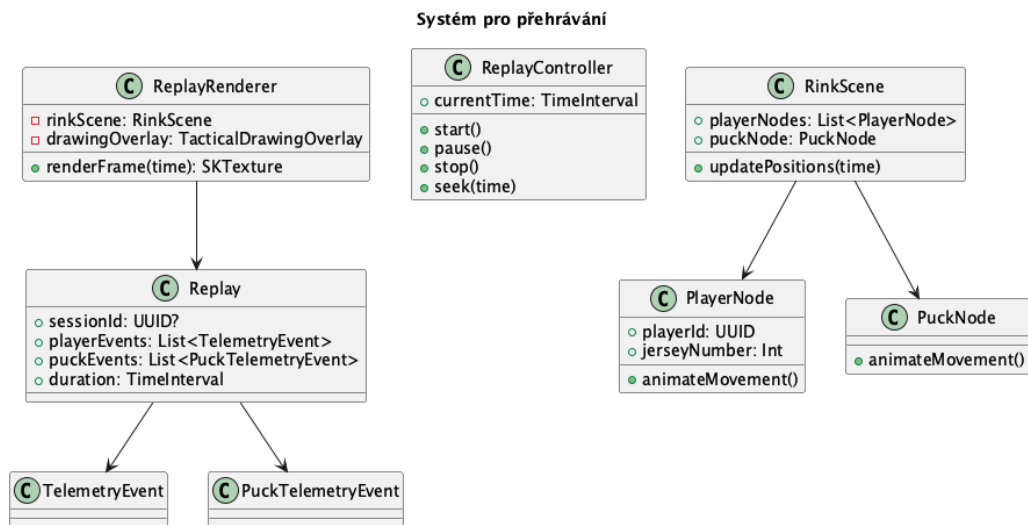


Obrázek 9: Model taktických scénářů a heuristického vyhodnocení.

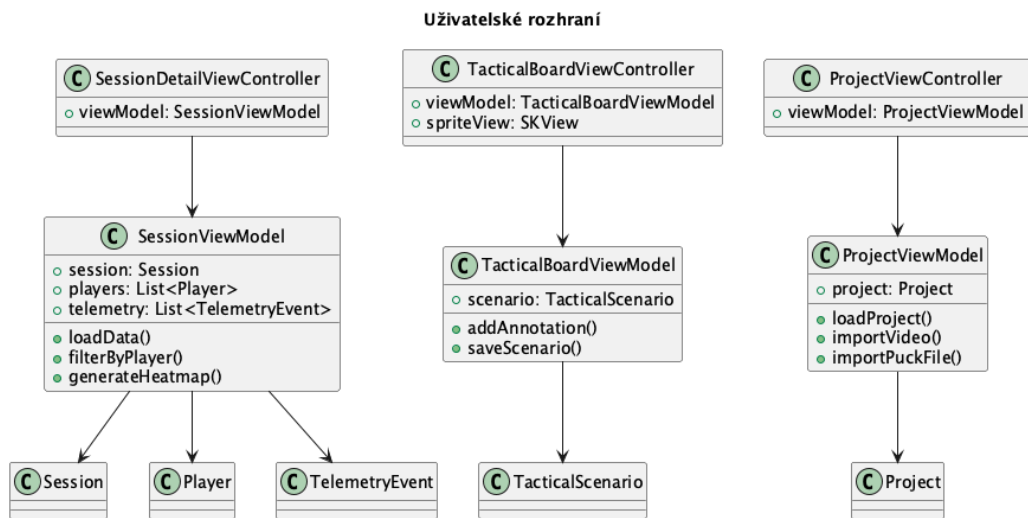
## System pro kreslení



Obrázek 10: Anotační vrstvy pro Apple Pencil.



Obrázek 11: 2D vizualizace hráčů a puku, přehrávání a export.



Obrázek 12: ViewModely a UI kontrolery.