

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



Tvorba digitálního dvojčete budovy

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Filip Chrást

Vedoucí práce:

doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

2021/2022

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Chrást Jméno: Filip Osobní číslo: 440775  
Zadávací katedra: Katedra Technických zařízení budov  
Studijní program: Inteligentní budovy  
Studijní obor: Inteligentní budovy

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Tvorba digitálního dvojčete budovy  
Název diplomové práce anglicky: Creating a digital twin of a building

**Pokyny pro vypracování:**

Upravte stávající 3D model budovy s ohledem na realizovaný stav  
Vytvořte digitální dvojče zadané budovy s využitím BIM nástrojů  
Pro vytvoření dvojčete využijte systémy pro dynamické načítání dat z reálné budovy  
Zhodnoťte možnosti využití modelu budovy pro řízení a optimalizaci provozu

**Seznam doporučené literatury:**

Feng Jiang, Ling Ma, Tim Broyd, Ke Chen, Digital twin and its implementations in the civil engineering sector, Automation in Construction, Volume 130, 2021, 103838, ISSN 0926-5805

Deng, Min & Menassa, Carol & Kamat, Vineet. (2021). From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry. Journal of Information Technology in Construction. 26. 58-83. 10.36680/j.itcon.2021.005.

Autodesk REVIT. <https://www.autodesk.cz/> Manuál programu

Autodesk FORGE. <https://forge.autodesk.com/> Manuál programu

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Michal Kabrhel, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 16.2.2022 Termín odevzdání DP v IS KOS: 15.5.2022  
*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

16.2.2022  
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

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

V Praze dne 15.5.2022

podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své práce doc. Ing. Michalu Kabrhelovi, Ph.D. za důvěru, cenné rady a pomoc, které mi poskytl při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Jakubu Veselkovi za podporu a pomoc, která vedla k vytvoření digitálního dvojčete budovy. Také bych rád poděkoval dalším kolegům z Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT, jejichž rady mi byly nápomocné při zpracování práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, partnerce a přátelům, že mi poskytli zázemí pro studium a v těžkých chvílích mi vždy byli oporou.

## **Anotace**

Základní myšlenkou diplomové práce je definovat možnosti tvorby a využití konceptu digitálního dvojčete ve stavebním průmyslu. Digitální dvojče představuje virtuální kopii reálné fyzické budovy, díky které je možné komplexně monitorovat a posuzovat parametry objektu a nastavit tak systém budovy dle individuálních požadavků jednotlivých uživatelů.

Koncept digitálního dvojčete spojuje informační modelování budovy spolu s dynamickými daty získanými přímo z fyzických senzorů umístěných v budově. To umožňuje rozšíření využití digitálních technologií na provozní fázi objektu a tím tak mění pohled na posuzování funkčnosti objektu ze statického ideálu na dynamický proces. Pokud je koncept rozšířen o služby nabízející datovou analýzu a umělou inteligenci, můžeme pomocí dat komplexně posuzovat přínosy jednotlivých úsporných návrhů a přizpůsobit návrh dalších funkčně podobných objektů těmto poznatkům.

## **Klíčová slova**

Informační modelování budov, Umělá inteligence, Sensory, Digitální dvojče, Strojové učení, Provozní fáze, Energetické úspory, Internet věcí, Správa budov

## **Annotation**

The basic idea of the thesis is to define the possibilities of creating and using the digital twin concept in the construction industry. A digital twin of a building is a virtual copy of a real physical building, thanks to which it is possible to comprehensively monitor and assess the parameters of the building and thus adjust the building system according to the individual requirements of each user. The digital twin concept combines building information modelling (BIM) together with dynamic data obtained directly from physical sensors located in the building. This allows the application of digital technologies to be extended to the operational phase of the building, thus changing the view of assessing the functionality of a building from a static ideal to a dynamic process. If the concept is extended with services offering data analytics and artificial intelligence, we can use data to comprehensively assess the benefits of individual energy-saving designs and adapt the design of other functionally similar buildings to these insights.

## **Keywords**

Building Information Modeling, Artificial Intelligence, Sensors, Digital Twin, Machine Learning, Operational Phase, Energy Savings, Internet of Things, Building Management

## Obsah

<b>Úvod .....</b>	<b>11</b>
<b>1. Důvody integrace konceptu digitálního dvojčete do stavebního průmyslu 12</b>	
1.1. Ekonomické přínosy BIM modelu pro provozní fázi životního cyklu budovy ...	12
1.2. Trend v návrhu udržitelných budov.....	13
1.3. Produktivita a digitalizace ve stavebním průmyslu.....	14
1.4. Rozšíření sběru dat.....	15
1.5. Systémové omezení BIM.....	16
<b>2. Rozdíl mezi Informačním modelováním budovy a Digitálním dvojčetem .....</b>	<b>18</b>
2.1. Informační modelování budov (BIM).....	18
2.1.1. Úroveň potřeby podrobnosti informací (LOIN) .....	19
2.1.2. Úroveň vývoje (LoD).....	20
2.2. Digitální dvojče .....	21
<b>3. Příklady užití konceptu digitálního dvojčete.....</b>	<b>22</b>
3.1. Průmysl 4.0 .....	22
3.2. Stavební průmysl .....	24
3.2.1. Národní centrum Stavebnictví 4.0.....	25
3.2.2. Digitalizace stavitelství Estonsko .....	25
3.2.3. Pokročilé využití BIM modelování v Německu .....	26
<b>4. Definice a oblasti využití digitálního dvojčete budovy.....</b>	<b>27</b>
4.1. Fáze využití .....	27
4.2. Monitoring a správa objektu .....	27
4.3. Prediktivní údržba.....	28
4.4. Energetická optimalizace provozu.....	29
4.5. Nastavení parametrů pro budoucí návrh objektu.....	30
<b>5. Teoretické poznatky pro vývoj digitálního dvojčete .....</b>	<b>30</b>
5.1. Vrstva získávání dat.....	31
5.1.1. Dynamická data .....	31
5.1.1.1. Senzory pro měření kvality prostředí .....	31
5.1.1.1.1. Senzory pro měření teploty.....	31
5.1.1.1.2. Senzory pro měření vlhkosti .....	32
5.1.1.1.3. Senzory pro měření koncentrace CO <sub>2</sub> .....	33
5.1.1.1.3.1. Chemicko-mechanické senzory.....	33
5.1.1.1.3.2. Elektronické senzory .....	33

5.1.1.1.4.	Senzory pro měření koncentrace organických těkavých látek .....	35
5.1.1.2.	Senzory pro měření spotřeb energií .....	37
5.1.1.2.1.	Senzory pro měření průtoku tekutin.....	37
5.1.1.2.2.	Senzory výšky hladiny .....	39
5.1.2.	Data pro správu objektu .....	42
5.1.2.1.	CMMS .....	42
5.1.2.2.	Záznamy o údržbě .....	42
5.2.	Vrstva digitálního modelování a doplňkových dat .....	42
5.2.1.	Objemová a dispoziční data.....	43
5.2.2.	Fyzikální parametry použitých materiálů.....	43
5.2.3.	Kategorie prvků.....	43
5.3.	Přenosová vrstva.....	43
5.3.1.	Problémy při zpracování dat .....	43
5.3.2.	Nároky na systém při zpracování dat.....	44
5.4.	Integrační vrstva .....	45
5.4.1.	Internet věcí (IoT).....	45
5.4.1.1.	Komunikační protokol MQTT .....	45
5.4.2.	WSN .....	46
5.4.3.	Cloudová platforma Microsoft Azure .....	47
5.4.3.1.	Microsoft Azure IoT .....	47
5.4.3.1.1.	Microsoft Azure IoT Hub .....	47
5.4.3.1.1.1.	Device update for IoT Hub .....	47
5.4.3.1.2.	Microsoft Azure IoT Central.....	47
5.4.3.1.3.	Microsoft Azure Sphere.....	48
5.4.3.2.	Microsoft Azure AI .....	48
5.4.3.2.1.	Microsoft Azure Machine Learning .....	48
5.4.3.2.2.	Microsoft Azure Cognitive Services .....	48
5.5.	Aplikační vrstva .....	49
5.5.1.	Autodesk Platforma Forge.....	49
6.	<i>TiCo House</i> .....	50
6.1.	Popis objektu.....	50
6.1.1.	Urbanistické řešení.....	51
6.1.2.	Architektonické řešení .....	51
6.1.3.	Dispoziční a provozní řešení .....	51



6.1.3.1.	Low cost .....	51
6.1.3.2.	Standard .....	52
6.1.3.3.	Comfort .....	53
6.1.4.	Materiálové a konstrukční řešení.....	54
6.1.4.1.	Skladby konstrukcí .....	54
6.2.	Technická zařízení objektu .....	59
6.2.1.	Zdroj tepla .....	59
6.2.2.	Otopná soustava.....	60
6.2.3.	Příprava teplé vody.....	60
6.2.4.	Větrání.....	60
6.3.	Regulace .....	61
6.3.1.	Zdroj tepla .....	61
6.3.2.	Vytápění.....	61
6.3.3.	Větrání.....	62
6.4.	Měření.....	62
6.4.1.	Kvalita vnitřního prostředí.....	63
6.4.1.1.	Indoor air quality sensor (IAQ) .....	64
6.4.2.	Měření spotřeby elektrické energie .....	65
6.4.3.	Spotřeba a množství vody.....	66
6.4.4.	Měření spotřeby tepla otopné soustavy.....	67
6.4.5.	Radon .....	68
6.4.6.	Sluneční energie dopadající na jednotlivé části objektu .....	68
6.4.7.	Senzory pro měření venkovních parametrů .....	69
6.4.8.	Vlhkost konstrukce .....	69
6.5.	Úprava existujícího BIM modelu dle dokumentace skutečného provedení.....	70
6.5.1.	Úprava konstrukčních prvků dle výrobní dokumentace .....	71
6.5.2.	Úprava skladeb konstrukcí dle dokumentace skutečného provedení stavby 71	
6.5.3.	Úprava umístění prvků pro měření parametrů objektu dle skutečného provedení.....	72
6.5.4.	Úprava parametrů modelu pro lepší zobrazování ve vizualizačním prostředí 73	
6.6.	Definice okrajových podmínek pro vyhodnocení parametrů objektu .....	73
7.	<i>Praktický vývoj digitálního dvojčete .....</i>	<i>74</i>
7.1.	Volba vhodného vývojového prostředí .....	74

7.1.1.	Autodesk Project Dasher .....	74
7.1.2.	Autodesk Tandem.....	75
7.1.3.	Autodesk Viewer.....	77
7.1.3.1.	Autodesk Project Hyperion.....	80
7.2.	Úprava parametrů modelu .....	81
7.3.	Načítání dynamických dat .....	81
7.4.	Spuštění a instalace referenční aplikace .....	82
7.5.	Nahrání datového modelu do vizualizačního prostředí.....	84
7.5.1.	Nahrání datového modelu TiCo House .....	84
7.5.2.	Definice virtuálních uzlů .....	85
7.5.2.1.	Vložení předdefinovaných uzlů do zdrojového kódu .....	86
7.5.2.2.	Nadefinování měřených parametrů kategorií senzorů .....	87
7.5.2.3.	Konfigurace vyčítaných parametrů.....	88
7.5.3.	Datové soubory .....	88
7.5.3.1.	Vytěžení dat z monitorovacího prostředí UCEEB ČVUT .....	88
7.5.3.2.	Úprava a naformátování dat pro digitální dvojče .....	89
7.5.4.	Zprovoznění datového adaptéru.....	90
7.6.	Vizualizace dat v uživatelském prostředí.....	91
<b>8.</b>	<b>Vyhodnocení.....</b>	<b>92</b>
8.1.	Vizualizace modelových dat v informačním modelu.....	92
8.2.	Analýza nákladů a přínosů.....	96
<b>Závěr.....</b>		<b>97</b>
<b>Literatura.....</b>		<b>98</b>
<b>Přílohy.....</b>		<b>103</b>

## Úvod

Diplomová práce na téma Tvorba digitálního dvojčete budovy se věnuje vymezení samotného konceptu a následně definuje možnosti, jak lze digitální dvojče vytvořit a pro jaké účely lze konkrétně využít.

Cílem této práce je 1) prozkoumat koncept digitálního dvojčete a možnosti jeho integrace do stavebního průmyslu 2) najít vhodnou platformu pro tvorbu dvojčete 3) upravit existující informační model dle požadavků služby 4) najít způsob jak vytěžit a následně upravit senzorická data z reálné budovy 5) postup následně aplikovat na objekt TiCo a propojit tak informační model s daty.

Úvod práce se věnuje rešerši. Vymezuje předpoklady pro integraci konceptu digitálního dvojčete ve stavebnictví a definuje rozdíly mezi informačním modelováním budovy a digitálním dvojčetem. Dále jsou zde uvedeny praktické ukázky, jak je tento koncept využíván ve stavebnictví a v jiných průmyslových odvětvích a jakým směrem se v současnosti digitalizace stavebnictví ubírá.

V teoretické části práce jsou uvedeny jednotlivé prvky systémové architektury digitálního dvojčete, jejich příklady a možnosti využití pro provozní fázi životního cyklu budovy. Jsou zde uvedeny technologie, které jsou základem pro funkci digitálního dvojčete.

Praktická část práce se zabývá implementací konceptu na reálný objekt TiCo House, který vznikl v rámci experimentální činnosti na UCEEB ČVUT. První část praktické aplikace tvoří popis jednotlivých konstrukčních a technický systémů tohoto objektu dle projektu skutečného provedení stavby. Následuje úprava stávajícího informačního modelu dle těchto podkladů a s ohledem na následnou aplikaci. Koncept digitálního dvojčete pro správnou funkci vyžaduje vysoký standard informačních dat obsažených v modelu, proto ho bylo nejprve nutné přizpůsobit tak, aby se stal plnohodnotnou virtuální kopií svého fyzického protějšku.

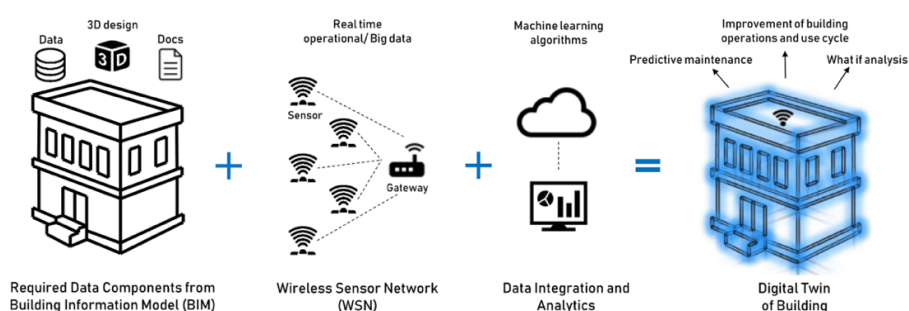
Další část se věnuje samotné tvorbě digitálního dvojčete. Tvorba digitálního dvojčete byla podmíněna současnou nabídkou technologií, které jsou k dispozici na trhu. V první řadě bylo nutné na základě požadavků najít vhodnou službu či software, který by tuto tvorbu umožnil. Většina služeb, které jsou přímo určeny pro vývoj digitálního dvojčete budovy, jsou v současné době buď funkčně značně omezené nebo jsou součástí výzkumných projektů, a tedy je nebylo možné plnohodnotně využít. Jedinou možností, jak vytvořit funkční digitální dvojče, bylo využít cloudové kódovací platformy Forge od společnosti Autodesk a za pomoci předdefinovaných služeb postupně digitální dvojče vytvořit. K tomu ovšem bylo nutné nejprve nastudovat základní znalosti programování. A za pomoci nástroje pro editaci kódů Visual Studio Code od společnosti Microsoft a vývojářského návodu postupně upravit referenční aplikaci. Tato úprava spočívá v nahrazení předdefinovaných uživatelských parametrů služby za vlastní model spolu s reálnými daty naměřenými přímo v objektu.

V závěru práce jsou ukázky funkcí takto vytvořeného digitálního dvojčete budovy a jeho přímá aplikace na monitoring a hodnocení objektu. Dále byla na základě dat zpracována analýza nákladů a přínosů využití BIM nástrojů pro provozní fázi životního cyklu, jejíž vyhodnocení ukazuje na přínos použití konceptu v provozní fázi životního cyklu objektu.

# 1. Důvody integrace konceptu digitálního dvojčete do stavebního průmyslu

Digitální dvojče jako koncept vznikl především proto, aby doplnil funkce BIM modelování a rozšířil jeho možnosti použití. V principu se jedná o propojení BIM modelu se sensorickými daty. Tato myšlenka se poté rozšířila o doplnění dalších zdrojů dat a umělé inteligence.

V tuto chvíli je digitální dvojče budovy koncept, který v sobě spojuje v podstatě veškeré informace o objektu. Ať už se jedná o data v reálném čase, která slouží především k monitoringu objektu, jeho analýze a nastavení zpětnovazebních reakcí technických systémů budovy, tak data statická jako jsou fyzikální parametry materiálů, objemové a dispoziční parametry objektu či záznamy o opravách a údržbě, které lze zaznamenat pomocí poznámek a dokladů od servisních techniků či správce objektu a můžeme je doplnit o veškeré potřebné dokumenty. To nám umožní vytvořit komplexní nástroj určený pro správu objektu převážně ve fázi provozu. Za pomoci digitálního dvojčete lze efektivně spravovat veškerá data o objektu na jednom místě, což si klade za cíl usnadnit jeho správu a zefektivnit tak jeho provoz. Další fází je zapojení služeb datové analýzy a umělé inteligence, což může umožnit předpovídat budoucí stav technického systému a efektivně tak plánovat údržbu a vyvarovat se případným haváriím.



Obrázek 1: Základní koncepce digitálního dvojčete [11]

## 1.1. Ekonomické přínosy BIM modelu pro provozní fázi životního cyklu budovy

EU BIM Task Group [37] stanovila několik základních cílů, jak dosáhnout nejlepších výsledků za veřejné peníze a v rámci toho poskytuje metodiku, na základě které lze stanovit přínos využití BIM modelování. Tato metodika se jmenuje Analýza nákladů a přínosů metody BIM [36] a spolu s dalšími studiemi ukazují na to, že výrazný přínos BIM modelování je při použití v rámci provozní fáze objektu spolu se zapojením technologií pro monitoring a analýzu spotřeby energií. Analytickým nástrojem pro monitoring provozní fáze se může stát právě digitální dvojče budovy. Díky vyššímu zaměření na provozní fázi objektu a monitorování spotřeb energií lze lépe stanovit předpokládané spotřeby u objektů stejného charakteru již na začátku projekce, což může zpřesnit návrh technických zařízení a pomoci k vyšší hospodárnosti projektu.



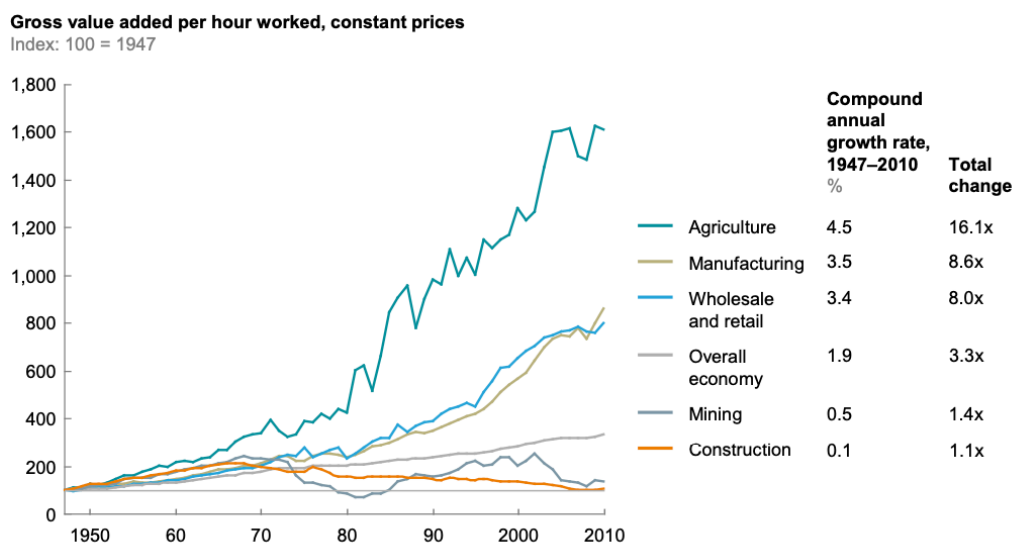
**Obrázek 2:** Grafické vyjádření přínosů BIM nástrojů v životních cyklech budovy [7]

## 1.2. Trend v návrhu udržitelných budov

Aktuální vývoj udržitelných budov směřuje k jinému přístupu v návrhu a hodnocení. Pojem udržitelná budova je třeba brát, namísto statického ideálu, jako dynamicky se měnící systém. Z této myšlenky vychází vznikající potřeba nástrojů, které nám namísto striktně daných návrhových parametrů objektu, poskytnou možnost analýzy na základě průběžného hodnocení výkonnosti budovy v reálném čase, a tím přizpůsobení aktuálním potřebám jejich uživatelů, které se mohou v čase významně měnit. [2] V současné chvíli je návrh nízkoenergetických budov a stanovení jejich parametrů na velice dobré úrovni a díky odborníkům lze za určitých podmínek navrhnout objekt, který má výborné vlastnosti a předpoklady pro úsporný provoz. Je však nutné vzít v úvahu, že tyto objekty neobývají pouze odborníci, kteří dokážou efektivně využít potenciálu budovy. Důležitým faktorem ovlivňujícím provoz jsou právě jeho obyvatelé, kteří často nejsou dostatečně poučeni, jak takový objekt efektivně spravovat. Pro dosažení maximálního využití pokroku v návrhu nízkoenergetických objektů, je nutné poskytnout jejich uživatelům nástroj, který umožní jednoduše a srozumitelně sdělovat informace o aktuálním dění v objektu. Takovým nástrojem by se mohlo stát právě digitální dvojče budovy. Za předpokladu, že uživatel bude mít přístup k základním informacím o jeho objektu ve srozumitelné formě, jako je například právě 3D vizualizace, může být pro něj jednodušší pochopit chování objektu a případně ho vhodně přizpůsobovat jeho aktuálním potřebám. [26]

### 1.3. Produktivita a digitalizace ve stavebním průmyslu

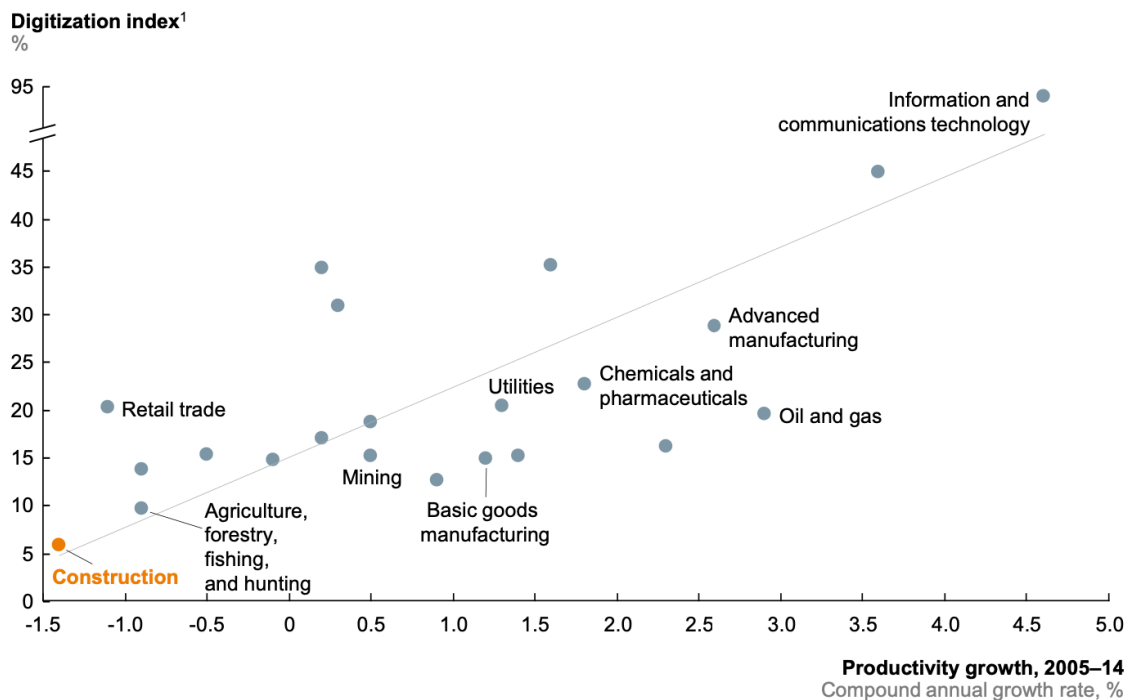
Míra produktivity ve stavebním průmyslu je v porovnání s ostatními odvětvími na velice špatné úrovni. Produktivita ve stavebnictví zůstává stále na stejné úrovni a v některých oblastech dokonce klesá. Na základě dat společnosti MCKinsey&Company [38] lze usoudit, že mezi roky 1947-2010 se produktivita zvýšila o pouhých 10 %, zatímco například zemědělství během stejného časového úseku dokázalo zvýšit produktivitu na cirka šestnáctinásobek viz obrázek 3. Tato statistika v sobě zrcadlí konzervativnost stavebního odvětví.



**Obrázek 3:** Grafické znázornění míry produktivity ve stavebním průmyslu v porovnání s jinými odvětvími [16]

I přes to, že je snaha o digitalizaci stavebnictví, chybí zde možnost vyšší automatizace stavebních procesů. Je zřejmé, že automatizace ve stavebnictví nelze dosáhnout na takové úrovni jako v jiných odvětvích. To je dané především tím, že stavební průmysl je ve fázi návrhu a realizace téměř vždy unikátním procesem, ať už se jedná o parametry objektu či okolní podmínky stavby. Už historicky či v současnosti vznikala snaha o automatizaci návrhových a realizačních procesů. Jeden z nejznámějších případů je pravděpodobně unifikace konstrukčních systémů v souvislosti s panelovou výstavbou v druhé polovině 20.století, která ovšem výrazně potlačila individualitu v návrhu či dispozičních možnostech jednotlivých uživatelů. V současné době je snaha tvořit takové systémy, které jsou založeny na unifikaci a modulaci stavebních prvků, ale pouze do takové míry, aby nebyla omezena variabilita návrhu. Jedná se o krok vpřed, ale v porovnání s automatizací v jiných odvětvích je téměř zanedbatelný. I proto lze považovat za vhodné se v rámci automatizace stavebnictví zaměřit na fázi provozu. V této fázi lze stanovit konkrétní okrajové podmínky, které jsou pro spoustu provozů velice podobné a na základě těchto podmínek, s pomocí datové analýzy, poskytnout nástroj, který dokáže provoz efektivně monitorovat a vyhodnocovat. Tím lze získat data i pro budoucí návrh podobných provozů a je tak možné zefektivnit další fáze životního cyklu budovy.

Lower digitization in construction relative to other industries has contributed to the productivity decline



Obrázek 4: Stupeň digitalizace ve stavebním průmyslu v porovnání s jinými odvětvími [16]

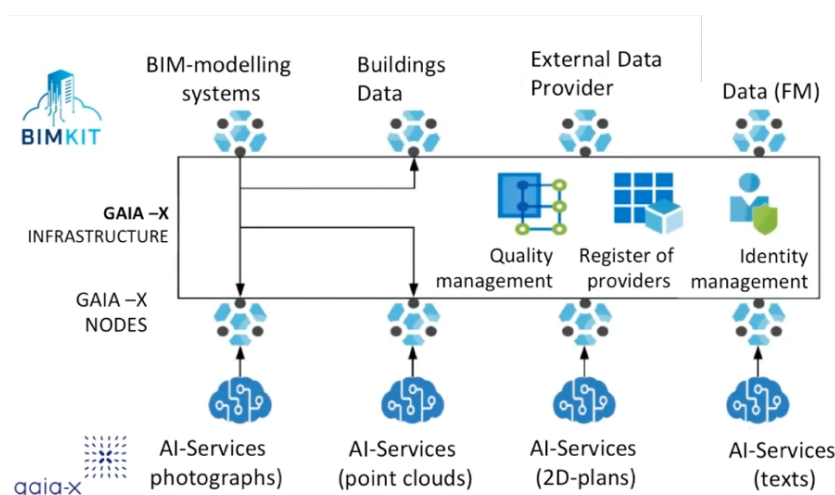
## 1.4. Rozšíření sběru dat

Vytvoření konceptu digitálního dvojčete bylo podmíněno především globálním rozšířením polovodičových součástek, které se podle Moorova zákona staly dostupnější. To umožňuje rozšířit sběr dat z fyzických aktiv, která jsou jedním ze základních prvků konceptu.

Digitální dvojče lze s výhodou aplikovat u nových staveb, které již ve fázi návrhu počítají s implementací BIM modelování. Hlavní výhodou je především v tom, že už samotný model přináší do digitálního dvojčete informační data, která lépe definují okrajové podmínky objektu a samotných fyzických aktiv, která jsou dále vyhodnocována.

Podíl objektů, pro které nebyl v návrhové fázi vytvořen BIM model, je ovšem výrazně větší. Tvorba BIM modelu pro každý takový objekt nedává z časového a finančního hlediska obvykle smysl. Digitální dvojče takových objektů lze vytvořit i na základě jiných než jenom informačních modelů. Ty dvojčeti dokáží poskytnout objemová a dispoziční data. Nicméně v tomto případě je dvojče ochuzeno o vstupní data v podobě fyzikálních vlastností materiálu a konstrukcí, což může mít vliv na komplexní posouzení objektu. Informační modely jsou zároveň nositelem parametrických informací, díky kterým lze lépe propojit fyzická aktiva s jejich virtuální kopií. Pokud je model neobsahuje je nutné definovat vstupní body pro vizualizaci dat jiným způsobem. I touto metodou je možné vytvořit digitální kopii objektu, na níž lze monitorovat, vyhodnocovat a modulovat provozní vlastnosti objektu, a tím tak umožnit přizpůsobení objektu jeho aktuálním potřebám. Stejně tak je možné vést záznamy o fyzických aktivech a vytvořit platformu, pro komplexní správu budovy. Ovšem chybí zde komplexní informace o konstrukcích a jiných parametrech objektu. [13]

V současné době pracují výzkumné týmy na metodě, která by umožňovala tvorbu informačních modelů na základě běžně dostupných, či snadno získatelných podkladů staveb jako jsou 2D dokumentace, fotografie či například mračna bodů [13]. V Německu pracují na výzkumném projektu s názvem BIMKIT [28], který by tento proces za pomoci umělé inteligence automatizoval. Vytváření BIM modelů, pro stávající objekty, by se tak stalo výrazně jednodušší, a tedy i dostupnější. To by mohlo z hlediska rozšíření konceptu digitálního dvojčete ve stavebnictví znamenat velký průlom. V tuto chvíli ovšem taková metoda dostupná není, a tak je plnohodnotný koncept omezen primárně na objekty, které již byly projektovány metodou BIM.



**Obrázek 5:** Zapojení služeb umělé inteligence v rámci výzkumného projektu BIMKIT [7]

## 1.5. Systémové omezení BIM

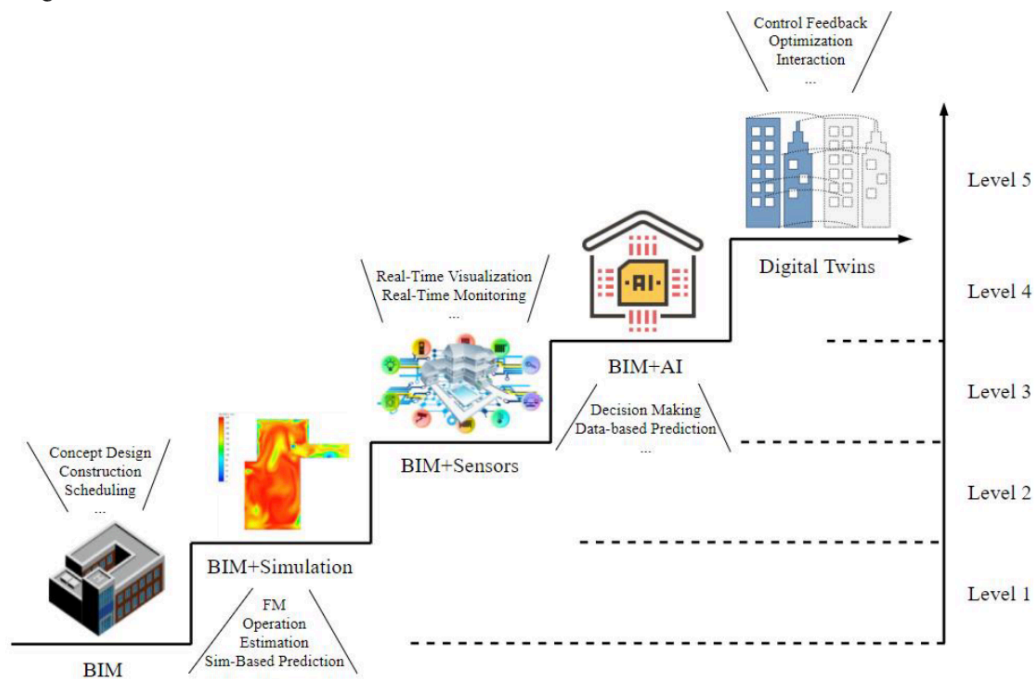
Informační modely založené na BIM technologii mají určitá omezení, která definují propast mezi fyzickým a virtuálním objektem. Díky tomu, že BIM modelování je koncept, který je podmíněn odbornými znalostmi uživatele patřičného softwaru, je časté, že model jako takový je po ukončení výstavby prakticky nevyužitý. Informační model budovy může být nepochybně významným pomocníkem, v případě pozdějších zásahů do konstrukcí objektu, a tyto změny lze pro další účely do modelu zaznamenat. Tato úprava je ovšem podmíněna komunikací mezi stranou, která tuto úpravu fyzicky provádí a BIM specialistou, který tuto změnu do objektu zaznamená. Pokud ovšem informační model neslouží pro správu objektu a uživatel nemá k dispozici platformu, která mu nabízí přehled o objektu a jeho částech, může být motivace zaznamenání těchto změn výrazně menší. Je zřejmé, že jelikož koncept digitálního dvojčete staví na základě BIM modelování, lidský faktor, v podobě BIM odborníka, nelze zcela odstranit. Ovšem v případě, že má správce objektu k dispozici uživatelsky přívětivou platformu, která mu umožňuje komplexní správu objektu bez předchozích odborných znalostí, může to mít významný vliv na jeho motivaci zaznamenat jakoukoliv konstrukční či technickou změnu v budově. Důvodem je, že tento model reálně využívá pro zefektivnění objektu, a tedy i své vlastní práce.



Významné omezení, které v současné době BIM systémy mají, spočívá ve statické povaze vkládaných dat. Tedy neexistuje žádný standardizovaný proces, jak vkládat data dynamická. [14]

Jelikož koncept spočívá v propojení fyzických uzlů s jejich virtuální kopií, umožňuje vkládat a zobrazovat tyto informace zcela automaticky. Je možné vyvarovat se tak chyb, které v případě velkého objemu dat, jsou převážně způsobeny lidským faktorem.

Navíc se lze vyhnout nutnosti, aby se o model v celé fázi životního cyklu starali pouze kvalifikovaní odborníci. Vývoj digitálního dvojčete je samozřejmě podmíněn určitou mírou znalostí, ovšem vkládání dokumentů a zaznamenání dalších informací o provozu objektu už nemusí, a tak lze systém spravovat bez významnějších znalostí BIM modelování. Koncept digitálního dvojčete si klade za cíl umožnit správu virtuální kopie objektu širšímu okruhu uživatelů tak, aby majitel objektu byl schopný kontrolovat data, což zjednoduší obsluhu objektu a umožní výrazně rychlejší reakci na jakoukoliv změnu systému. To může mít za důsledek zvýšení energetické efektivity, pozitivní vliv na životní prostředí a také vést k úspoře finančních prostředků.

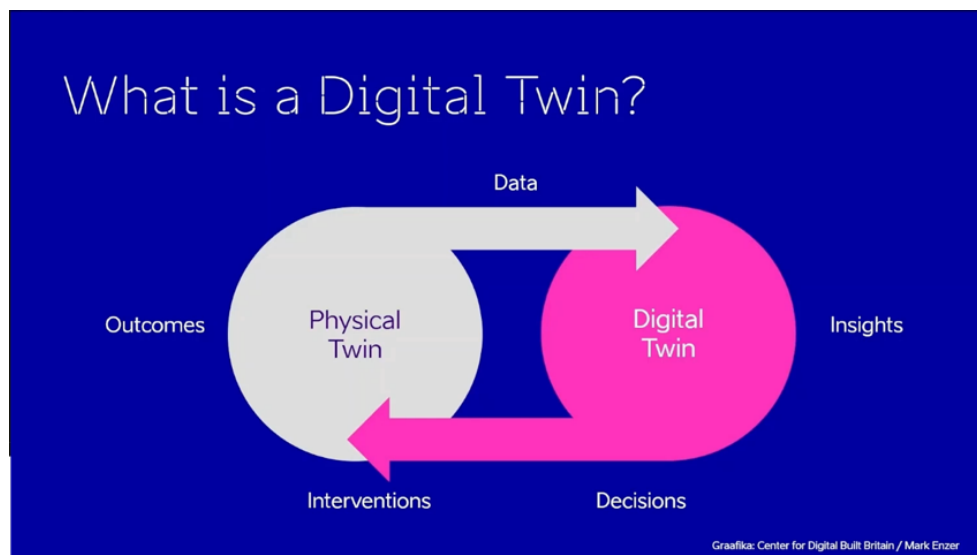


**Obrázek 6:** Evoluce od BIM po digitální dvojče budovy [25]

## 2. Rozdíl mezi Informačním modelování budovy a Digitálním dvojčtem

Nejzásadnější rozdílem mezi těmito dvěma koncepty je v tom, jaký typ dat využívají a pro jaký účel je používají. Informační model stavby je 3D model, který v sobě nese informace o jednotlivých konstrukcích, což mu umožňuje zefektivnit fázi návrhu a výstavby. V ideálním případě lze takový model využít pro simulaci řízení stavby a optimalizovat plán výstavby.

Digitální dvojče je koncept, který pro svoji funkci využívá data získaná ze senzorů, které jsou umístěny v objektu. Jedná se o přenos dat mezi skutečným a virtuálním světem, což umožňuje efektivní monitoring vnitřního prostředí v systému budovy. To může pomoci optimalizovat uživatelský komfort s energetickými úsporami. Vzhledem k tomu, že data jsou vyčítána a zobrazována v reálném čase, je možné nástroj využít pro komplexní multikriteriální analýzu řešeného problému a nastavení zpětnovazebních reakcí, které přímo propojí virtuální svět se světem reálným viz obrázek 7. [11]

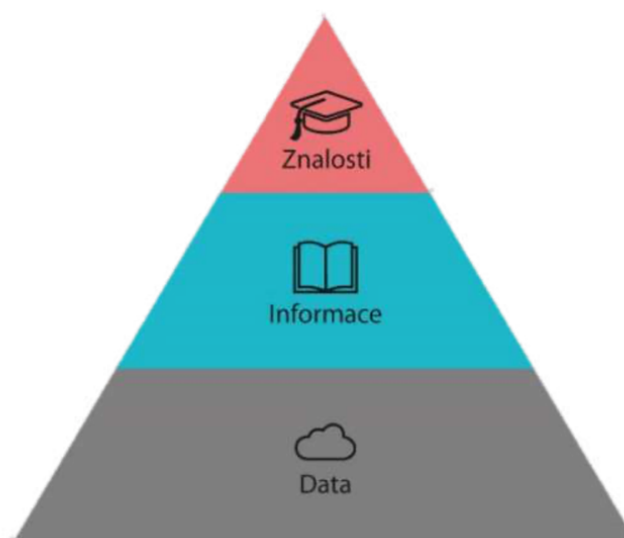


Obrázek 7: Schématické vyjádření konceptu digitálního dvojčete [11]

### 2.1. Informační modelování budov (BIM)

Informační modelování budov neboli BIM je v praxi obvykle využíváno především ve fázi návrhu a realizace. BIM projektování ovšem není pouze o 3D modelu stavby a jeho využití v rámci koordinace. Jedná se o komplexní změnu přístupu k projektování jako takovému. BIM modelování nepřináší žádné nové informace o objektu. Pouze informace, které již existují, nebo by existovat měly, shromažďuje v jedné standardizované formě tak, aby bylo možné tyto informace efektivně sdílet mezi jednotlivými účastníky výstavby. Právě standardizace dat dle ČSN EN ISO 19650-1 [4] je v současné době největším tématem v oblasti informačního modelování budov. Snaha sjednotit datové prostředí napříč světovými organizacemi a umožnit tak srozumitelnou formou distribuovat potřebné informace mezi jakýmkoliv orgánem či institucí je hlavním přínosem BIM modelování jako takového.

Tento koncept je postaven na principu DIK pyramid (obrázek 8), který znázorňuje vzájemné vztahy mezi daty, informacemi a znalostmi. Hierarchie znázorňuje, že data jsou úplným základem této pyramidy, na kterém vyšší kategorie staví. Díky dostupnosti dostatečného množství dat lze získat potřebné informace o objektu a na základě těchto informací získat potřebné znalosti k řešení problémů. Lze tedy říct, že data jsou vstupním a základním prvkem informačního modelování, ale koncept jako takový nelze chápat pouze jako soubor dat bez širšího kontextu. A právě tento kontext dodává datům jejich informační hodnotu, kterou lze efektivně proměnit ve znalosti. Znalost lze v tomto případě chápat jako schopnost efektivně a s minimálním počtem kolizí organizovat projekci a výstavbu tak, aby výsledkem byl co možná nejúspěšnější a zároveň nejefektivnější objekt.



Obrázek 8: DIK pyramida [15]

### 2.1.1. Úroveň potřeby podrobnosti informací (LOIN)






Úroveň potřeby podrobnosti informací, dnes obvykle značena zkratkou LOIN, vyjadřuje jaké má model obsahovat informační parametry. Obvykle je určuje objednavatel v závislosti na využití informačního modelu. V rámci tohoto konceptu lze pro klasifikaci předávných informací použít různé metriky. [12]



Obrázek 9: Aplikace principu LOIN [9]

## 2.1.2. Úroveň vývoje (LoD)

Úroveň vývoje známá spíše pod anglickým názvem Level of Development. Tento koncept se vyvinul z původního Level of Detail, který vznikl za účelem potřeby klasifikovat úroveň zpracování pro oceňování jednotlivých stavebních elementů. Jedná se o doporučení, které umožňuje všem zúčastněným přesně specifikovat spolehlivost informačního modelu v různých fázích návrhu. Dá se říct, že LoD je měřítkem jak zaimplementované informace reprezentují daný BIM element. Úroveň vývoje jednotlivých prvků, právě v závislosti na jejich informační podobě, jsou důležitým aspektem modelu při tvorbě digitálního dvojčete. Pro plnohodnotné digitální dvojče je vhodné aby se úroveň vývoje modelu pohybovala mezi 450-500, což představuje opravdu velmi přesné zobrazení reálného objektu, spolu s velkým množstvím obsažených informací. [12]

LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 400	LOD 500
(Pouze data označená červeně jsou použitelná)				
				
Koncept (prezentace)	Návrh	Dokumentace	Konkrétní výrobek	Facility management
<b>POPIS:</b> <b>Kancelářská židle</b> s područky, na kolečkách <b>ŠÍŘKA:</b>  <b>HLOUBKA:</b>  <b>VÝŠKA:</b>  <b>VÝROBCE:</b> Hermann Miller <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> <b>100</b>	<b>POPIS:</b> <b>Kancelářská židle</b> s područky, na kolečkách <b>ŠÍŘKA:</b> <b>700</b> <b>HLOUBKA:</b> <b>450</b> <b>VÝŠKA:</b> <b>1100</b> <b>VÝROBCE:</b> Hermann Miller <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> <b>200</b>	<b>POPIS:</b> <b>Kancelářská židle</b> s područky, na kolečkách <b>ŠÍŘKA:</b> <b>700</b> <b>HLOUBKA:</b> <b>450</b> <b>VÝŠKA:</b> <b>1100</b> <b>VÝROBCE:</b> Hermann Miller <b>MODEL:</b> Mirra <b>LOD:</b> <b>300</b>	<b>POPIS:</b> <b>Kancelářská židle</b> s područky, na kolečkách <b>ŠÍŘKA:</b> <b>685</b> <b>HLOUBKA:</b> <b>430</b> <b>VÝŠKA:</b> <b>1085</b> <b>VÝROBCE:</b> <b>Hermann Miller</b> <b>MODEL:</b> <b>Mirra</b> <b>LOD:</b> <b>400</b>	<b>POPIS:</b> <b>Kancelářská židle</b> s područky, na kolečkách <b>ŠÍŘKA:</b> <b>685</b> <b>HLOUBKA:</b> <b>430</b> <b>VÝŠKA:</b> <b>1085</b> <b>VÝROBCE:</b> <b>Hermann Miller</b> <b>MODEL:</b> <b>Mirra</b> <b>LOD:</b> <b>01/07/2015</b>

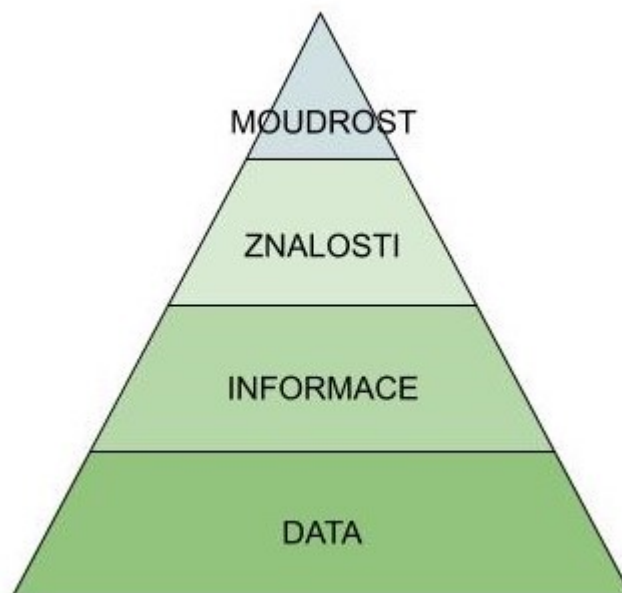
Obrázek 10: Klasifikace úrovně vývoje [17]

## 2.2. Digitální dvojče

Koncept digitálního dvojčete se liší především v tom, pro jakou fázi je vytvořen. Jedná se především o fázi provozu, kdy je digitální dvojče, díky datům získaným ze senzorů, schopno efektivně monitorovat, vyhodnocovat a vylepšovat interakci mezi objektem, energetickou efektivitou a uživatelským komfortem. Díky této analýze se jedná o nástroj, který umožňuje na základě statistických dat, lépe přizpůsobit chování systému budovy individuálním potřebám konkrétního uživatele. Koncept staví na propojení informačního modelování a dynamických dat zapojených do systému a jejich analýze. Právě díky zapojení datové analýzy a strojového učení lze DIK pyramidu rozšířit o další úroveň, kterou je moudrost. Koncept BIM modelování efektivně dosáhl fáze znalostí, která mu umožňuje navrhnout parametry objektu pro předpokládaný provoz, tak, aby byl objekt co nejefektivnější. S čím ovšem nedokáže počítat je lidský faktor, který zcela nepochybně do těchto parametrů vstupuje. Zpětná vazba na reálný provoz objektu, na základě individuálních potřeb jeho uživatelů může poskytnout úplně jiný pohled na navrhovaná úsporná opatření. Pokud je tedy koncept rozšířen o sběr a analýzu dat, může tento přístup nabídnout moudrost v podobě zpětné vazby jednotlivých úsporných opatření, které jsou navrženy v rámci návrhové fáze a lze tak zhodnotit jejich přínos pro provoz objektu. Tato data je možné využít pro zlepšení návrhové fáze dalších podobných projektů. Díky zkušenostem z provozu dané budovy lze lépe nastavit potřebné parametry systému a celý proces tak zefektivnit.

Získaná data lze na základě poznatků využít také pro prediktivní údržbu, což může přispět ke včasnému odhalení závady systému a efektivnějšímu plánování údržby.

Aplikace služeb umělé inteligence umožňuje lepší pochopení podstaty návrhu a následně tak přispět ke zvýšení produktivity stavebního průmyslu.



Obrázek 11: DIKW pyramida [18]

### 3. Příklady užití konceptu digitálního dvojčete

V následující kapitole je představeno několik příkladů užití konceptu digitálního dvojčete. Využití digitálních dvojčat je velmi různorodé. V závislosti na aplikaci a také na povaze využívaných dat ho lze využít pro různé typy a životní fáze výrobku. První část je zaměřena na využití digitálních dvojčat v Průmyslu 4.0, kde je tento koncept již úspěšně integrován. Je zde snaha o přiblížení problematiky a také rozdílů mezi jednotlivými odvětvími. Druhá část se zaměřuje na konkrétní příklady využití konceptu ve stavebnictví. Představuje koncept Stavebnictví 4.0, který se snaží nasměrovat stavební průmysl směrem k trendům čtvrté průmyslové revoluce. Jsou zde také uvedeny příklady ze světa a směr, kterým se aktuálně vydávají světové špičky v digitalizaci stavebnictví.

#### 3.1. Průmysl 4.0

V Průmyslu 4.0 je využití konceptu digitálního dvojčete o něco komplexnější a více rozšířené, než ve stavebním průmyslu. To souvisí s několika základními odlišnostmi těchto odvětví a samotné výroby.

Samozřejmě zde opět narážíme na problematiku efektivity výroby, která je ve stavebnictví na velmi špatné úrovni, což může souviset především s unifikací výrobních procesů. I přes to, že spousta stavebních výrobků se již vyrábí na základě do jisté míry unifikovaných procesů, tak stále samotný proces stavby souvisí obvykle s velmi unikátními okrajovými podmínkami i samotnými procesy. A vzhledem k tomu, že architektura jako taková se ve většině případů snaží o originální pojetí jednotlivých objektů, nelze tento proces zcela sjednotit. V průmyslu je obvyklý finální produkt nějakého stroje či linky součástka či výrobek vytvořený ze standardizovaných dílů. Abychom tedy dosáhli stejné analogie, bylo by nutné vytvořit nějaké množství typizovaných konstrukčních systémů objektů, které by tvořily standardizované díly. Tento postup by byl následně aplikován na většinu nově vznikajících staveb. Úlohou architekta by pak bylo dát tomuto systému originální vzhled za pomoci vnějšího opláštění a upravit vnitřní dispozice, ovšem za předem daných prostorových podmínek.

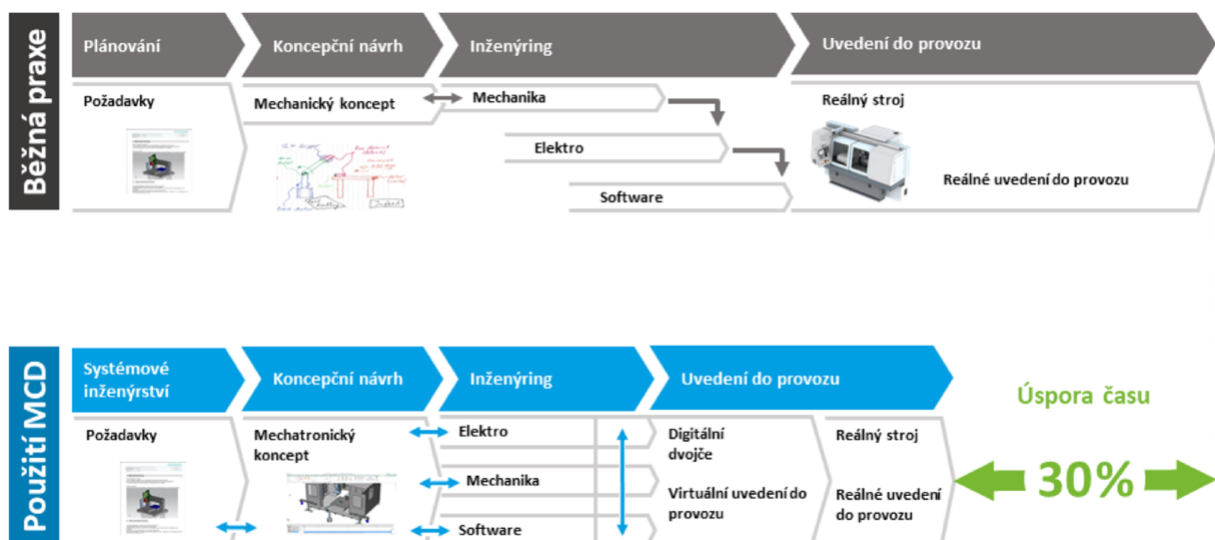
Tento přístup může připomínat éru, kdy byla unifikace bydlení velmi rozšířená a na celém území, nejen naší země, se ve velkém stavěly panelové domy o několika různých konstrukčních systémech. I přes to, že spousta lidí odsuzuje různé aspekty takto dříve vznikajících sídlišť a v současné době by asi stejný postup aplikovat nešel, je nutné si přiznat že se jednalo o velice efektivní přístup, který pravděpodobně dokázal oddálit současnou bytovou krizi. Za současných podmínek lze na tuto problematiku nahlížet úplně jiným způsobem, a je úlohou architektů a stavebních inženýrů najít způsoby, jak výstavbu zefektivnit a zároveň v co největší míře zachovat variabilitu návrhu.

Dalším rozdílem ve výrobním procesu jsou nepochybně podmínky, za kterých výrobek vzniká. Průmysl 4.0 ve většině případů zahrnuje výrobu stejného výrobku za stejných podmínek na stejné výrobní lince. To ovšem o stavebnictví tvrdit nemůžeme. Jak již bylo zmíněno, díky unikátnosti staveb a rozdílným okrajovým podmínkám při vzniku každé z nich, by bylo časově a finančně neefektivní vytvářet pro fázi vývoje a výroby dynamické digitální dvojče, které by bylo schopné simulovat staveniště, stroje a v neposlední řadě stavební dělníky, kteří jsou na rozdíl od Průmyslu 4.0 nedílnou součástí výrobního procesu. To je v tuto chvíli zcela nepředstavitelné a vývoj takové simulace by nedával smysl. Proto je v rámci digitalizace v této fázi dynamický proces nahrazen statickými informačními modely vytvořenými pomocí BIM modelování.

Využití konceptu digitálního dvojčete je v průmyslu 4.0, díky dynamickým a opakujícím se procesům, využito již v rané fázi vývoje a výroby. Tento koncept je aplikován pro matematické modelování jednotlivých strojů, výrobních buněk či celé výrobní haly.

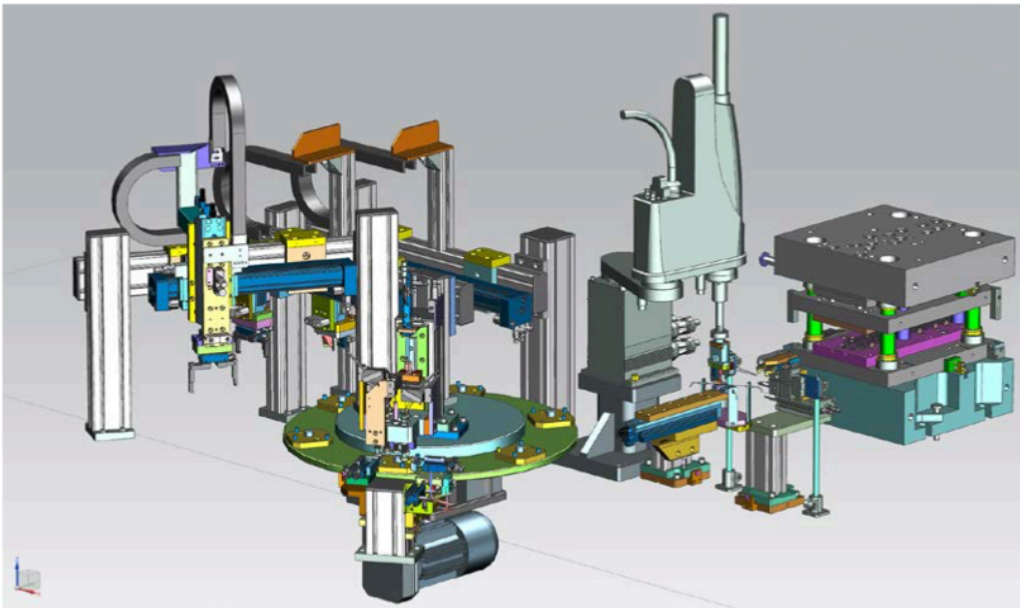
Složité technologické postupy, komplikované výrobní celky a k tomu nové materiály, které je potřeba skloubit do jednoho hladce běžícího procesu, je obvykle postup, který vyžaduje dlouhou přípravu a nezděná je nutné měnit nastavení výrobní linky za chodu či upravovat technologii výroby tak, aby parametry výrobku splňovaly zadání. Takový postup může být časově i finančně náročný, který nepochybně komplikuje, zdržuje a prodlužuje nasazení výroby do procesu. Z toho důvodu se začal uplatňovat koncept digitálního dvojčete. Díky tomu a zapojení virtuální a rozšířené reality lze nastavit výrobní procesy, odzkoušet a prověřit funkce veškerých strojů a výrobní linky dřív, než je vůbec realizovaná.

Využití těchto procesů přineslo výraznou úsporu času při ožívování stroje a usnadnilo jeho návrh. Dobu potřebnou pro zprovoznění stroje dokáže zkrátit až o 30%, jak je znázorněno na obrázku 12.



Obrázek 12: Úspora času při použití konceptu digitálního dvojčete v průmyslu 4.0 [19]

Pro tvorbu digitálních dvojčat jednotlivých strojů lze využít program Siemens Mechatronic Concept Designer, který umožňuje zahrnout mimo kinematických vlastností stroje i umělé fyzikální síly včetně gravitace. Zatímco pro tvorbu digitálních dvojčat větších celků lze využít program Siemens Tecnomatix Process Simulate, který nepracuje s fyzikálními vlastnostmi jednotlivých součástí, ale simuluje kinematiku celé linky a kooperaci jednotlivých robotů. Pomocí této metody lze dosáhnout simulace celé výrobní linky a koordinovat tak umístění jednotlivých robotů a rozmístění jednotlivých pracovišť.



**Obrázek 13:** Digitální dvojče části stroje v programu Siemens Mechatronic Concept Designer [19]

Připojením reálného PLC lze propojit existující výrobní stroje se simulovanou částí a zkoumat nové scénáře výroby, simulovat jejich efektivitu a na základě vyhodnocení zvolit vhodnou variantu a tu přímo aplikovat do výrobního procesu. To vše umožňuje zapojení umělé inteligence do procesu, díky čemuž lze pomocí simulací a datové analýzy vytvářet predikce budoucího vývoje. To umožňuje vyvarovat se případným ztrátám, kvůli výpadku výroby a díky včasné diagnostice možné havárie se zvyšuje bezpečnost pracoviště. [19]

### 3.2. Stavební průmysl

Ve stavebnictví je díky odlišné úrovni automatizace situace odlišná. Čtvrtá průmyslová revoluce se v tuto chvíli stavebního průmyslu dotýká primárně v teoretické rovině. V reálné praxi je ve fázi výroby využití robotizace a automatizovaných procesů spíše výjimečné a jedná se o menší výzkumné projekty. Praktická aplikace automatizovaných procesů je tedy omezena spíše na digitalizaci schvalovacích procesů a za pomoci informačních modelů lze některé části do jisté míry zjednodušit, avšak o plné automatizaci se ovšem zatím mluvit nedá. Pro tyto účely v roce 2022 vznikla v České republice akademicko-průmyslová platforma národního centra Stavitelství 4.0, která sdružuje inovační lídry z různých oblastí stavebního průmyslu za cílem vybudovat digitalizovaný, automatizovaný a udržitelný koncept stavitelství.



### 3.2.1. Národní centrum Stavebnictví 4.0

Národní centrum vzniklo na začátku roku 2022 za cílem sdružovat akademické a průmyslové prostředí pro vybudování nového konceptu stavitelství. Tato platforma reaguje na aktuální průmyslovou revoluci, která do výrobních procesů různých odvětví zavádí pojmy jako je digitalizace, automatizace a udržitelný přístup k výrobě.

### 3.2.2. Digitalizace stavitelství Estonsko

Estonsko je světovým lídrem v oblasti digitalizace. Dokázali digitalizovat 99 % státních služeb a usilují o to i ve stavebním průmyslu. Prvním krokem k digitalizaci stavebního průmyslu bylo v roce 2016 zavedení digitálního stavebního povolení. Díky tomu se celý postup udělování stavebního povolení výrazně zjednodušil. Aktuálně pracují na platformě, díky které bude možné udělovat stavební povolení na základě informačních modelů staveb. V principu se jedná o platformu, do které lze nahrát informační model stavby ve standardizovaném formátu a tato platforma, na základě nastavených algoritmů, dokáže posoudit soulad určitých prvků stavby s platnými stavebními předpisy.

Dalším projektem, který Estonsko v rámci digitalizace vytvořilo, je digitální dvojče celé země. Jedná se o virtuální obraz Estonska, který znázorňuje krajinu v několika úrovních. Smyslem tohoto projektu je v první řadě digitalizovat informace o zástavbě. Dále shromáždit tyto informace v jedné platformě, což si klade za cíl zefektivnit rozhodovací procesy při udělování stavebního povolení, či sloužit investorům pro upřesnění okolních podmínek při tvorbě investičního záměru.

Koncept digitálního dvojčete je zde využit ve velmi zjednodušené formě, což je ale vzhledem k rozsahu pochopitelné. Jedná se o formu 3D vizualizačního modelu, který je zároveň sémantický a tak ho lze považovat za digitální dvojče. Tento model obsahuje několik propojených úrovní a informací o budovách, které získává z různých zdrojů.

Pro vytvoření úrovně stávajících objektů využilo Estonsko pro tvorbu 3D modelů dva základní přístupy, a to především skenování za pomoci LIDARu. Je to metoda, která poskytuje poměrně přesné výsledky objemových rozměrů objektů, avšak problém vzniká v aktualizaci těchto dat. LIDAR skenuje zemi pouze jednou za cca 2 roky, což znamená že úroveň synchronizace dat pro tento účel není příliš vhodná a mohla by vést k neaktuálnosti dat. To vedlo k využití druhé metody, a to vytvoření objemových modelů za pomoci LOD1 dat, které jsou součástí Estonské elektronické evidence staveb. Modely vznikly na základě půdorysných a výškových údajů. Tento přístup je rychlý a snadno synchronizovatelný. Na druhou stranu je výrazně méně přesný, než skenování za pomoci LIDARu.

Další vrstvou, která je součástí digitálního dvojčete země, jsou budovy, které již dostaly stavební povolení, ale ještě nebyly realizovány, což poskytuje komplexnější přehled o obrazu krajiny a umožňuje uživateli představu o budoucím stavu okolní zástavby. To může poskytnout výhodu při plánování realizačních záměrů či může sloužit občanům jako informační platforma.

V rámci vizuální části této technologie je umístěna vrstva, která znázorňuje do modelu veškeré inženýrské sítě. V tuto chvíli je znázorněna pouze ve 2D, ale už se chystá 3D verze.

Tato technologie je zcela jistě přínosná z hlediska územního plánování, pro veškeré účastníky stavebního procesu a pro lepší celkový přehled o obrazu měst a celé země. Abychom však mohli mluvit o digitálním dvojčeti je nutné vizuální části reprezentované 3D modelem přiřadit ještě dynamické datové informace. Pokud se chceme o objektu dozvědět více stačí si zvolit objekt, což nám poskytne informace z registru staveb nebo údaje o aktuální spotřebě objektu. V tomto ohledu se již můžeme bavit o digitálním dvojčeti, které může sloužit pro účely návrhu, například komunitní energetiky. Model obsahuje i další informace, jako třeba geologické zprávy, které se do modelu nahrávají v jednotném standardizovaném formátu tak, aby byly k dispozici každému. Jedná se tedy o digitální 3D model celého Estonska, který mimo vizuálních informací obsahuje dynamické i statické datové informace.

Stát jako instituce není schopen vytvořit model, který by obsahoval kompletní digitální dvojčata všech objektů, proto je tato platforma koncipována jako open source platforma, do které může každý jednotlivý stavebník či instituce nahrát model ve standardizovaném formátu IFC a podílet se tak na tvorbě digitálního dvojčete země. [8]



Obrázek 14: Snímek vizualizace digitálního dvojčete Estonska [8]

### 3.2.3. Pokročilé využití BIM modelování v Německu

Německo v rámci dalšího vývoje digitalizace stavebnictví nemluví přímo o pojmu digitální dvojče, ale definuje potřeby, které se s konceptem slučují. Především se jedná o studie, mezi které patří i analýza nákladů a přínosů, které ukazují na přínos BIM v rámci provozní fáze objektu. Ukazuje totiž, že výrazný přínos informačního modelování je tehdy, když se efektivně využije právě pro provoz a údržbu objektu.

Cílem se v současné době stává především využít informační modely, které jsou získány na konci stavby, k základním úkonům správy budovy. Jako příklad lze uvést nástroje efektivně organizující úkony jako je úklid či samotná správa jednotlivých místností, zejména se však jedná o správu technických systémů budovy. V tuto chvíli je zde řeč pouze o nově vznikajících objektech, u kterých je možné na konci stavby získat komplexní informační model. Německo ovšem v rámci digitalizace stavebnictví pracuje na výzkumném projektu s názvem BIMKIT [28], jehož cílem je automatizovaná tvorba modelů pomocí umělé inteligence a cloudových technologií. Tento projekt by mohl v oblasti vývoje digitálních dvojčat objektů přinést významnou výhodu a rozšířit možnosti využití na stávající objekty.

## **4. Definice a oblasti využití digitálního dvojčete budovy**

Doktor Michael Grieves definoval v roce 2002 digitální dvojče jako systém, který reprezentuje dva světy. Jeden fyzický, který je umístěn v reálném světě, a druhý virtuální založený na informacích a datech. [24] Jiné výzkumy doplňují definici digitálního dvojčete také o aktualizaci digitálních dat v reálném čase na základě fyzické zpětné vazby a schopnost přijímat autonomní rozhodnutí dle vnitřního stavu systému. [11]

### **4.1. Fáze využití**

V rámci životního cyklu stavby již byla efektivně optimalizována většinu jeho fází. Fáze plánování, designu a výstavby je v současné chvíli nejprogresivněji zefektivněna pomocí informačního modelování. Ovšem přínos BIM modelování je podmíněn vznikem nových objektů. Samozřejmě, že je možné vytvořit informační model i pro již existující objekt, z hlediska ekonomického a časového, to ovšem nedává příliš smysl. Nehledě na to, že tyto objekty jsou často velmi specifické a kvůli jejich složitým detailům také náročné na modelování.

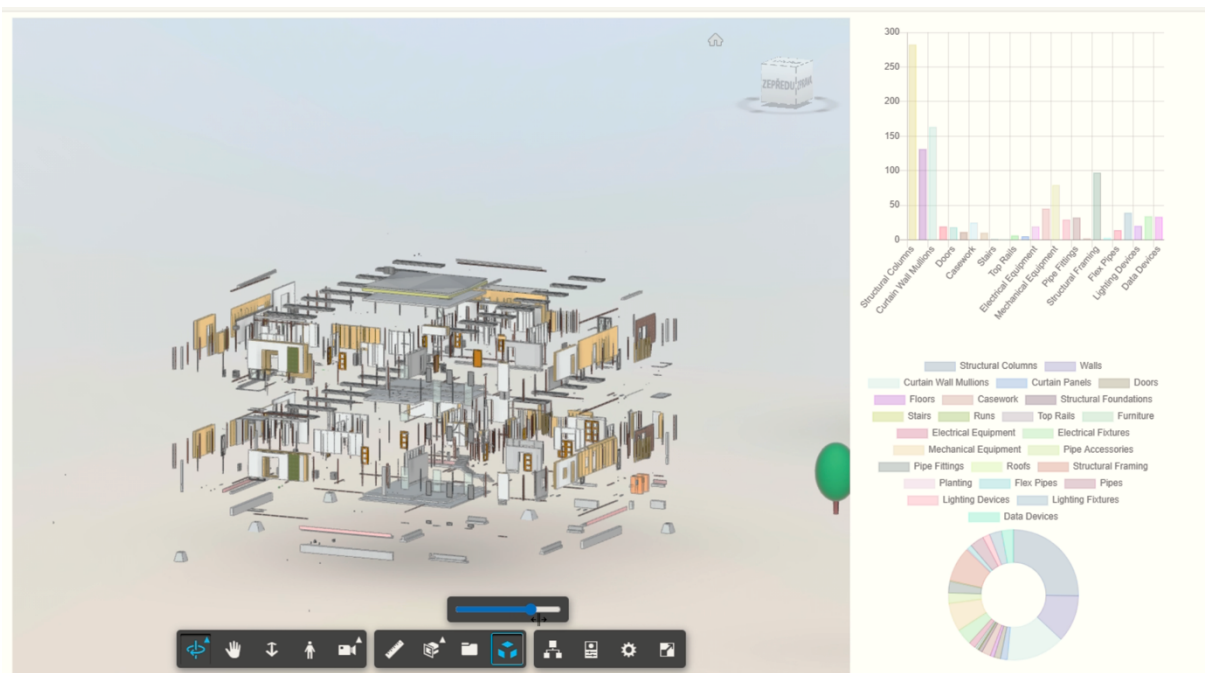
Koncept digitálního dvojčete má přinést výhody především ve fázi provozu a údržby, kde je na základě dat schopný monitorovat, řídit a zároveň umožňovat prediktivní údržbu a autonomní řízení jednotlivých aspektů objektu. [14]

### **4.2. Monitoring a správa objektu**

Využití digitálního dvojčete v rámci provozní fáze životního cyklu budovy souvisí nejvíc s monitoringem, analýzou a komplexní správou objektu. Vytvoření platformy digitálního dvojčete v sobě spojuje prvky informačního modelu budovy spojené s živými sensorickými daty v rámci jedné uživatelské platformy. V této platformě se již vizualizují data v jednoduché formě pomocí bodů umístěných v místě senzorů ve 3D modelu, které zobrazují aktuální či historická data na základě volby na časové ose. Do modelu lze umístit prakticky jakákoliv data, ke kterým máme přístup a lze tak sledovat v reálném čase vliv určitých aspektů systému na jiné jeho části, posuzovat kvalitu vnitřního prostředí, spotřebu energií či stav technických systémů budovy.

Tím lze snadno definovat určité anomálie, které jsou mimo požadované okrajové podmínky a v případě problému i bez větších odborných znalostí určit jaké systémy měly vliv na tento stav.

Pro správu objektu nabízí platforma několik různých funkcí, které ji mohou pomoci zefektivnit. Za využití API lze nakonfigurovat zobrazení statistických dat modelu nebo model rozložit na jednotlivé prvky, které je možné v rámci platformy organizovat dle kategorií. Tak může mít správce přehled o tom kolik a jaké systémy či prvky se v objektu nachází a zároveň o nich mít dynamická i statická data v podobě aktuálního provozu a záznamů párovaných přímo s konkrétním prvkem. Samozřejmě efektivní správa je podmíněna úrovní informačních dat obsažených v použitém informačním modelu, na základě kterých je pak možné se v prvcích dobře orientovat.

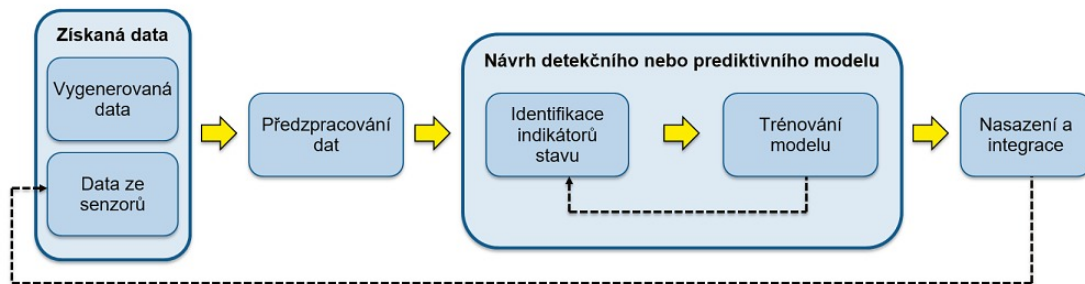


**Obrázek 15:** Statistická data a rozklad modelu TiCo House [Autodesk Viewer]

### 4.3. Prediktivní údržba

Systémy datové analýzy jsou schopné poskytnout služby pro hodnocení těchto dat s využitím umělé inteligence. Pokud je tedy pro tvorbu digitálního dvojčete použit vstup, který dokáže tyto služby integrovat, je možné si vlastní datový model vytrénovat tak, aby byl schopný na základě historických dat určit budoucí provoz těchto systémů. Predikce budoucího stavu na základě dat lze s výhodou využít právě v rámci provozu objektu pro plánování údržby. Prediktivní údržbu lze vystihnout následujícím citátem: „*Tak dlouho se chodí se džbánem pro vodu, až se ucho utrhne, aneb tomu se prediktivní údržbou právě chceme vyhnout.*” [19] Trochu jiná interpretace by mohla znít že, pokud jsou k dispozici data o intervalu předchozích poruch systému, lze poměrně přesně odhadnout, kdy se porouchá příště. Pak je tedy výhodnější určitou část systému vyměnit ještě před tím, než se to stane a ušetřit si tak zbytečné náklady při odstávce.

Údržbu lze nepochybně plánovat i na základě servisních intervalů či jiných parametrů prvku, které například uvádí výrobce na základě laboratorního měření. Tento přístup lze nazvat preventivní údržbou a rozdíl je hlavně v okrajových podmínkách, které ovlivňují chod celého technického systému. Reálné podmínky se od těch laboratorních mohou často velice lišit. Proto je výhodnější predikovat tyto stavy na základě dostupných měřených dat. Systém je pak na základě těchto dat schopný předpovědět budoucí stav a vyhnout se tak zbytečné odstávce celého systému v případě rychlejšího opotřebení stroje či naopak ušetřit náklady, pokud stroj nevykazuje žádné známky opotřebení.



Obrázek 16: Vývojový diagram prediktivní údržby [29]

#### 4.4. Energetická optimalizace provozu

Mezi oblasti využití digitálního dvojčete lze nepochybně zahrnout energetickou optimalizaci provozu. Provozní fáze je do velké míry ovlivněna uživatelem objektu, který může mít jiné požadavky, než jaké byly uvažovány při návrhu. Budova je velice komplexní, má spoustu vstupních parametrů a podmínek, za kterých může tvořit velice efektivní systém, ale pouze za předpokladu, že je využívána správně. Pokud uživatel nebude dostatečně poučen, jak má s budovou pracovat, může se stát, že i velice efektivní a zároveň nákladné opatření pro úsporu provozních nákladů může být zbytečné. Je ovšem nepředstavitelné předpokládat, že každý uživatel má takové znalosti, aby mohl budovu efektivně obsluhovat nebo například ke každému objektu vytvářet provozní manuál, který by i tak bylo velice složité pochopit. Hlavní přidanou hodnotou konceptu digitálního dvojčete pro provoz objektu je přehledné uživatelské prostředí, které dokáže využívat i nepoučený uživatel objektu a které vizualizuje jednotlivé provozní aspekty budovy tak, aby byly snadno uchopitelné pro každého. Tato vizualizace různých parametrů budovy může pomoci k jednoduchému pochopení návazností, které mezi sebou jednotlivé systémy mají a tím i přizpůsobení chování uživatelů v souladu s efektivním provozem objektu. Výhodou tohoto systému je, že pokud se uživatel objektu změní, či změní své běžné zvyky, je poměrně jednoduché přizpůsobit objekt novému režimu. K tomu mohou sloužit nástroje pro datovou analýzu, díky kterým se systém může trénovat a přizpůsobit novému provozu. Modelováním jednotlivých variant lze najít optimální řešení, které vyhovuje aktuálním potřebám uživatele.

## 4.5. Nastavení parametrů pro budoucí návrh objektu

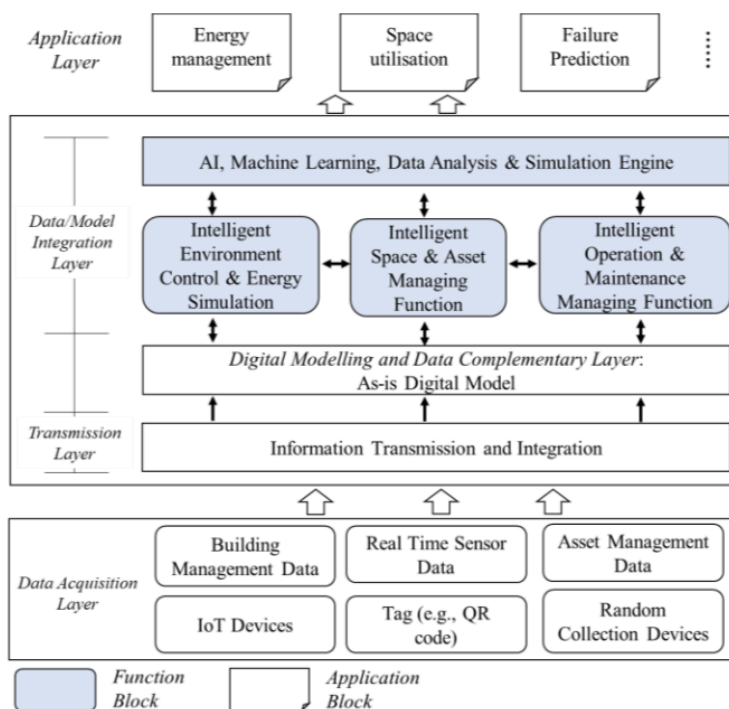
Díky zapojení služeb pro datovou analýzu lze data sbírat, analyzovat, případně vyhodnocovat a vytvářet modely, které dokážou simulovat jednotlivé varianty, jak může provoz fungovat. Díky velkým a bohatým datům lze nastavit a postupně přizpůsobovat návrhové parametry pro nově vznikající objekty. Pomocí sdílení těchto dat lze klasifikovat jednotlivé provozy, což může ovlivnit budoucí návrhové parametry, kvůli vyhodnocení efektivity těchto opatření. Díky této statistice je možné lépe posoudit přidanou hodnotu jednotlivých opatření pro energetické úspory a jejich vliv na životní prostředí.

## 5. Teoretické poznatky pro vývoj digitálního dvojčete

Aktuálně není jasně definovaná a dobře organizovaná systémová architektura pro tvorbu digitálního dvojčete budovy. Celá myšlenka konceptu digitálního dvojčete spočívá především ve vytvoření virtuální kopie. Ta reprezentuje skutečný fyzický objekt ve virtuálním světě a umožňuje toto aktivum monitorovat, analyzovat a nastavit zpětnovazební reakce, které vychází z aktuálních potřeb, či predikcí vzniklých na základě datové analýzy. Pokud je tedy jasně definovaný cíl digitálního dvojčete lze stanovit postup, jak toto dvojče vytvořit.

V rámci výzkumu v Cambridge stanovili dynamickou architekturu, která je sestavena z následujících 5 vrstev:

- Vrstva získávání dat
- Přenosová vrstva
- Vrstva digitálního modelování a doplňkových dat
- Integrovaná vrstva
- Aplikační vrstva



Obrázek 17: Systémová architektura tvorby dynamického digitálního dvojčete dle výzkumu v Cambridge [12]

## 5.1. Vrstva získávání dat

Vstupní data jsou jedním ze základních pilířů při tvorbě digitálního dvojčete. Jedná se o data ze senzorů, které jsou přenášeny z fyzického světa do virtuální podoby. [20]

Vzhledem k tomu, že data "živí" celý organismus digitálního dvojčete, je nutné tato data nejprve odněkud získat. Způsoby vytěžení dat jsou různé, od QR kódů, přes RFID, bezdrátovou komunikaci, mobilní přístup a další.

V tomto případě se koncept soustředí primárně na sběr dat pomocí distribuované senzorové sítě, která sestává z akčních členů, tedy senzorů, ze kterých se za pomoci obvykle radiové komunikace přenášejí data. [18] Nejsou to však jediná data, která by se v rámci konceptu měla uplatnit. Aby se z digitálního dvojčete stal opravdu efektivní nástroj pro správu budovy je nutné zajistit, aby byly k dispozici data o opravách, plánovaných servisech, odstávkách technologií apod., a to v rámci jednoho uživatelského prostředí.

### 5.1.1. Dynamická data

Prvním důležitým vstupem, který odlišuje digitální dvojče od informačního modelu, jsou dynamická data. Tato data jsou reprezentována za pomoci fyzických aktiv umístěných v objektu, která dynamicky vyčítají reálné parametry objektu. Tento fyzický uzel má vždy přímou návaznost na nějaký prostor, ze kterého jsou informace vytěženy. Zdrojem těchto dat jsou obvykle senzory, které měří nějakou součást vnitřního či vnějšího systému budovy. Mohou spolu vzájemně kooperovat či ovlivňovat jiné technické součásti systému a nebo mohou sloužit pouze jako informativní a analytické. Běžnými typy senzorů využívanými v rámci objektu jsou senzory pro měření kvality vnitřního i vnějšího prostředí, senzory pro měření spotřeb energií či senzory měřící výkon jednotlivých systémů objektu.

#### 5.1.1.1. Senzory pro měření kvality prostředí

Velkou kategorií v rámci senzorů využívaných v budovách jsou senzory pro měření kvality vnitřního a vnějšího prostředí. Tato kategorie zahrnuje senzory pro měření teploty, vlhkosti či koncentrace oxidu uhličitého, či jiných zdraví nebezpečných látek. Tyto parametry se měří za pomoci základních typů senzorů, které fungují na různých principech. Principy těchto senzorů jsou uvedeny v následujících kapitolách.

##### 5.1.1.1.1. Senzory pro měření teploty

První kategorií běžně užívaných senzorů jsou právě senzory pro měření teploty. Jde o jeden ze základních senzorů pro měření kvality vnitřního prostředí a lze ho využít jako základní vstup pro regulaci a ovládání vytápění, chlazení či větrání.

## **Odporový teploměr Pt100**

Principem je závislost odporů kovů na teplotě. Odporové teploměry mohou být vyrobeny z různých kovů, v závislosti na rozsahu měření. Nejčastěji se však jako odporové teploměry využívají platinové teploměry, protože platina je chemicky netečná, časově stálá a má vysokou hodnotu tání. Díky tomu, že známe závislost elektrického odporu na teplotě daného kovu, lze vyjadřovat hodnoty pomocí polynomu x-tého řádu.

## **Polovodičové senzory teploty - NTC termistory**

Polovodičové senzory, stejně jako kovové teploměry, využívají závislosti elektrického odporu na teplotě. Podle teplotního součinitele odporu je lze rozdělit na dvě skupiny – PTC s kladným a NTC se záporným, přičemž pro měření se využívají polovodičové senzory s negativním součinitelem teplotního odporu.

## **Termočlánek typu K**

Principem funkce termočláneků je převod tepelné energie na elektrickou. Při vystavení termočlátku určité teplotě se mění teplota kovů, ze kterých je článek složený, a tím vzniká elektrické napětí, čemuž říkáme Seebeckův jev. Typ K je vyroben z materiálů NiCr - NiAl (chromel-alumel), který má termoelektrický koeficient  $\alpha_{12}=42\mu\text{V/K}$ .

### **5.1.1.1.2. Senzory pro měření vlhkosti**

#### **Odporový senzor**

Princip odporového senzoru je založen na měření odporu mezi elektrodami. Mezi elektrodami je umístěn porézní polymerní film, jehož vodivost se zvyšuje adsorpcí vodní páry. Čím je vlhkost vzduchu vyšší, tím menší je elektrický odpor. Senzor reaguje poměrně dlouhou dobu na změnu vlhkosti a má delší dobu ustálení měření. Výhodou je vysoká přesnost a nízká cena. Nevýhodou však je, že je velmi citlivý na kondenzaci a nelze ho využít při vysokých teplotách.

#### **Kapacitní senzor**

Princip kapacitního senzoru je založen na změně kapacity na kondenzátoru. Vlhkost ovlivňuje relativní permitivitu porézního dielektrika. Výstupem je lineární změna kapacity. Výhodou proti odporovému senzoru je výrazně rychlejší reakce na změnu vlhkosti a jeho rychlejší ustálení.

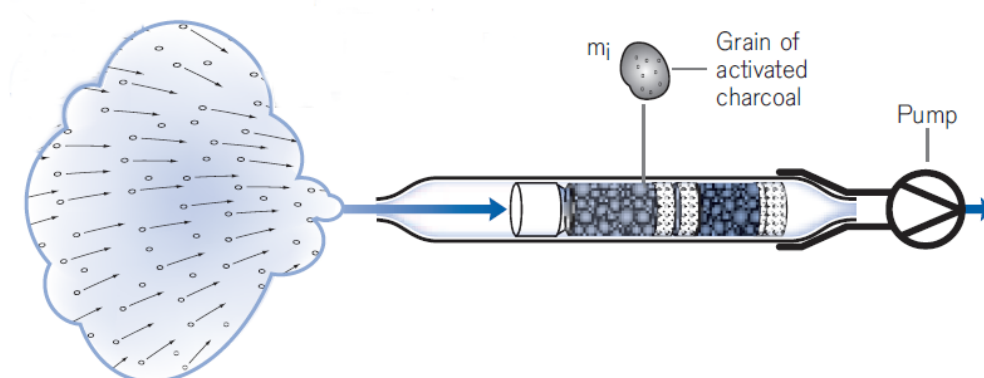


### 5.1.1.1.3. Senzory pro měření koncentrace CO<sub>2</sub>

Základním dělení senzorů pro měření koncentrace CO<sub>2</sub> dle principu funkce je na chemicko-mechanická zařízení a elektrické senzory.

#### 5.1.1.1.3.1. Chemicko-mechanické senzory

Tento typ senzoru nevyžaduje zdroj elektrické energie. Jedná se o chemické detekční trubice, které poskytují výsledky okamžitě po provedení měření. Výsledek lze hned odečíst na stupnici vestavěné přímo na trubici. Jedná se ovšem o měření jednorázové, které lze aplikovat v budovách spíše pro kontrolní měření a ověření správnosti výsledků měřených elektrickým typem senzoru. Principem je změna barvy materiálu trubice, který přichází do styku s měřeným plynem.



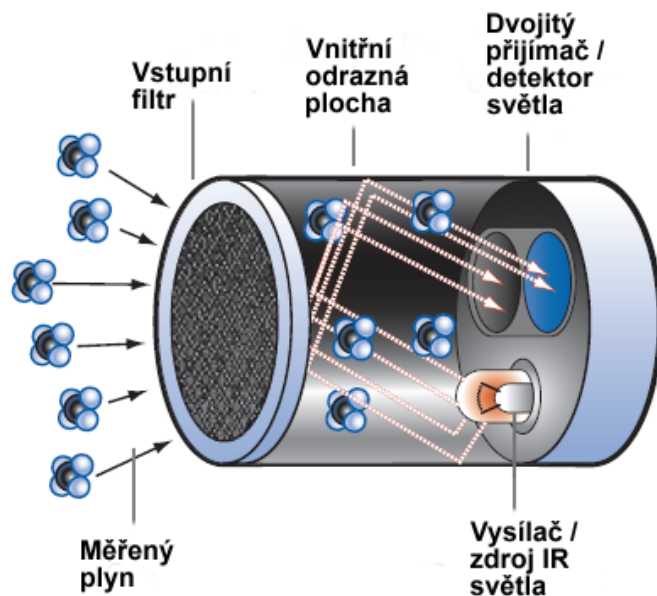
**Obrázek 18:** Chemická detekční trubice pro měření koncentrace CO<sub>2</sub> [21]

#### 5.1.1.1.3.2. Elektronické senzory

Pro měření dlouhodobé a opakované lze využít elektrických senzorů CO<sub>2</sub>, které na rozdíl od chemicko-mechanických senzorů vyžadují zdroj elektrické energie, a někdy i kalibraci. V rámci této kategorie jsou rozeznávány tři základní typy principů - optické, elektrochemické a polovodičové senzory pro měření CO<sub>2</sub>.

##### Optické IR/NDIR senzory

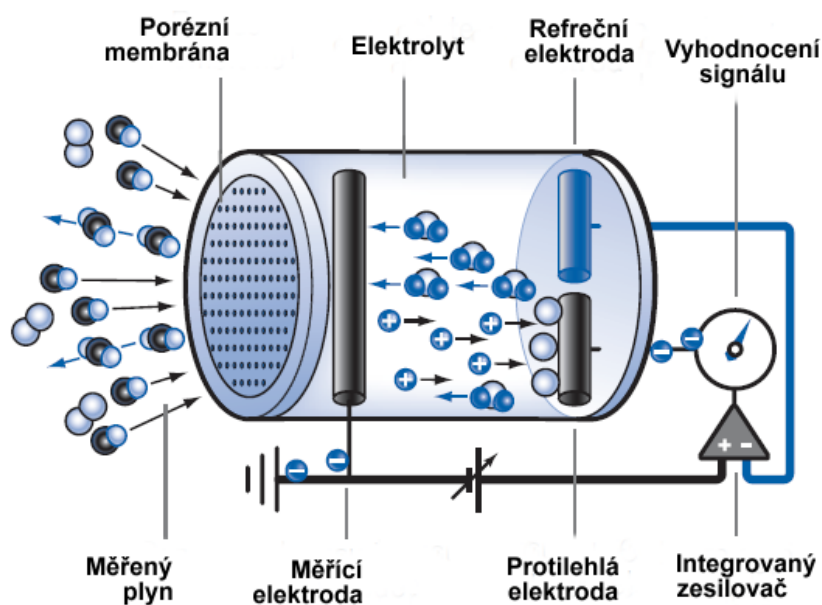
Částice CO<sub>2</sub> absorbují infračervené záření určitých vlnových délek. Na základě toho NDIR senzor měří útlum infračerveného záření. V principu se dá říct, že čím vyšší je koncentrace CO<sub>2</sub> mezi infračerveným zdrojem světla a přijímačem světla, tím méně fotonů projde molekulami CO<sub>2</sub> a tím méně světla dopadne na přijímač. Tento princip je omezen maximální koncentrací CO<sub>2</sub>, která zachytí téměř všechno světlo a poté již přijímač není schopen detekovat rozdíl. Pro běžné koncentrace je to ovšem velice výhodná metoda, která se obvykle využívá pro měření koncentrace CO<sub>2</sub> v budovách.



Obrázek 19: Princip infračerveného senzoru CO<sub>2</sub> [21]

### Elektrochemické senzory CO<sub>2</sub>

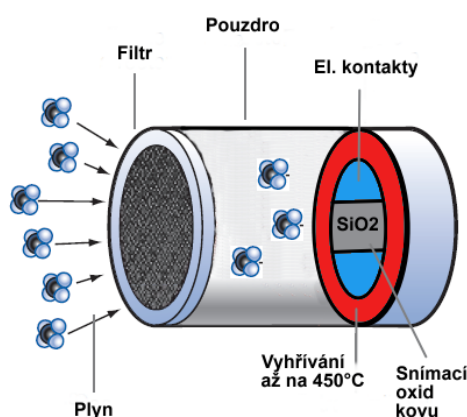
Tento typ senzoru využívá reakce molekul měřeného plynu s elektrolytem, na základě kterého se vytváří elektrický signál úměrný koncentraci CO<sub>2</sub>. Základní typ se skládá nejméně ze dvou elektrod, tedy měřící elektrody a protielektrody. Tyto elektrody jsou umístěny uvnitř senzoru a mezi nimi se nachází elektrolyt. Chemické složení je přizpůsobeno měřenému plynu. Tento typ se dřív využíval hlavně v průmyslových aplikacích, díky širokému rozsahu měření. Dnes už i senzory na principu infračerveného záření jsou schopny detekovat vysoké koncentrace CO<sub>2</sub> a tak je použití tohoto typu senzoru spíše výjimečné. Největší nevýhoda tohoto typu senzoru je jeho nízká životnost vlivem postupné degradace elektrolytu.



Obrázek 20: Princip elektrochemického senzoru CO<sub>2</sub> [21]

## Polovodičové MOS/MOX senzory CO<sub>2</sub>

Principem těchto senzorů je změna vodivosti povrchu polovodiče vlivem působícího plynu. Senzor se skládá z vhodného oxidu kovu, v současnosti obvykle SnO<sub>2</sub>, polovodiče typu n, snímací elektrody a ohřivače. Snímací oxid kovu se zahřívá na vhodnou teplotu a poté se na něm absorbuje kyslík z atmosféry, váže jeho elektrony a vede tak k tvorbě ochuzené vrstvy. Přítomnost jiných oxidačních či redukčních plynů způsobuje reakci s ionty kyslíku, což vede ke snížení energetické bariéry a následnému snížení vodivosti polovodiče. Změna vodivosti se vyhodnotí a převede na změnu koncentrace CO<sub>2</sub>. Často se namísto přímého měření koncentrace CO<sub>2</sub>, vypočítává ekvivalentní koncentrace CO<sub>2</sub> z naměřené koncentrace H<sub>2</sub>.



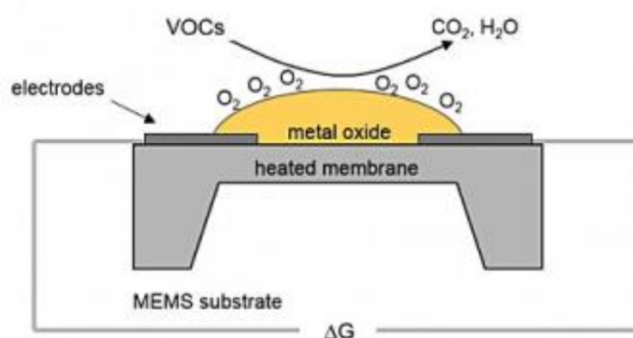
Obrázek 21: Princip polovodičového senzoru CO<sub>2</sub> [21]

### 5.1.1.1.4. Senzory pro měření koncentrace organických těkavých látek

Pro měření organických těkavých látek se v zásadě využívají následující tři typy senzorů.

#### Polovodičové MOS/MOX senzory VOC

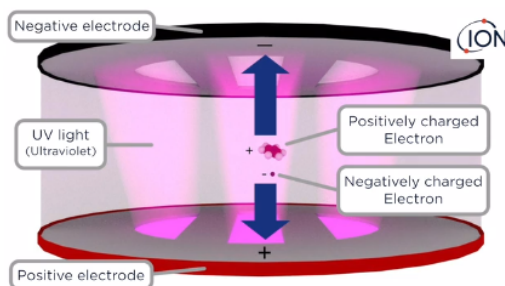
Tyto senzory využívají technologii založenou na interakci molekul plynu s vodivým materiálem. V přítomnosti těchto látek mění vodivý materiál elektrickou vodivost, která je následně elektricky vyhodnocována. Vodivé materiály použité pro měření jsou obvykle oxidy zinku, cínu, wolframu, india a podobné. Pokud je ve vzduchu přítomný jiný plyn než vzduch, naruší se rovnovážný stav mezi povrchem vodivého materiálu a molekulami kyslíku, což následně způsobí změnu jeho elektrické vodivosti. Tato změna je měřena elektricky a dále přepočítána na hodnotu koncentrace tohoto plynu. Mezi nevýhody tohoto typu senzoru patří fakt, že senzor nedetekuje přímo jednotlivé VOC látky ani celkovou směs VOC, ale obvykle koncentraci ethanolu. Z této koncentrace poté pomocí matematických algoritmů přepočítá výsledek na ekvivalentní koncentraci TVOC. To má za důsledek menší přesnost senzoru, než v případě použití jiných druhů senzorů. Výhodou je nízká cena a zcela bezúdržbový provoz.



**Obrázek 22:** Princip MOS/MOX senzorů [22]

### PID senzory VOC

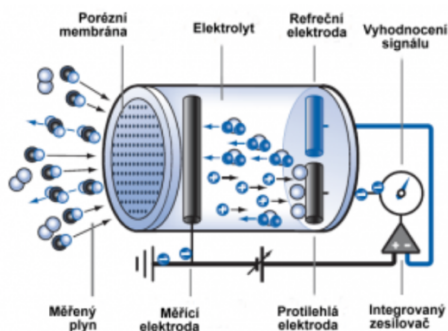
Foto-ionizační detektory jsou založeny na měření počtu excitovaných iontů molekul ionizovaných plynů vlivem energie dodané fotony ultrafialového záření. Toto záření je generováno UV lampami, které mají přesně stanovenou hodnotu ionizačních energií, které dodávají ozářeným molekulám plynu. Pomocí měřících elektrod jsou sbírány kladné a záporné ionty, kde následně generují elektrický signál. Tento signál je zpracován a elektricky zesílen v zesilovači. Aby velikost signálu odpovídala koncentraci VOC v ovzduší je následně kalibrován. Poté se signál digitalizuje a přepočítává na hodnoty ppm. Principiálně lze tento postup využít, jak pro měření jednotlivých VOC látek, tak i směs TVOC. Přesnost senzoru závisí především na správně zvoleném typu UV lampy a kalibraci. Mezi nevýhody těchto senzorů patří nižší životnost z důvodu omezené životnosti UV lampy.



**Obrázek 23:** Princip funkce PID optického měření koncentrace VOC [22]

### Elektrochemické senzory VOC

Elektrochemické senzory jsou založeny na principu elektrochemických článků. Tyto principy mohou být potenciometrické, pokud měří rozdíl potenciálů, nebo ampérometrické, pokud měří elektrický proud redoxní reakce. Základem procesu měření je chemická reakce molekul plynu v elektrodě a následném přenosu nábojů v elektrolytu, což generuje vnitřní elektrický proud úměrný koncentraci plynu. Mezi hlavní výhody tohoto typu senzoru patří vysoká přesnost měření a schopnost měřit konkrétní VOC látky. Největší nevýhodou je nižší rozsah měření závislý na použitém typu elektrolytu.



**Obrázek 24:** Princip funkce elektrochemického měření VOC [22]

### 5.1.1.2. Senzory pro měření spotřeb energií

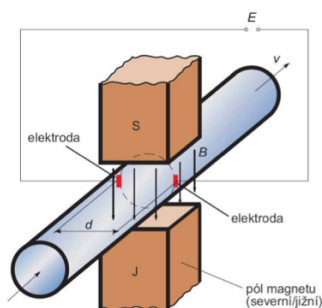
V budovách se běžně využívá několik základních typů senzorů pro měření parametrů souvisejících se spotřebou vody. Základní měřené veličiny jsou průtok vody dodané do objektu, případně do jednotlivých částí objektu, či množství vody v retenčních a akumulacích nádržích. Pro tento účel se obvykle využívají následující typy senzorů.

#### 5.1.1.2.1. Senzory pro měření průtoku tekutin

Průtok tekutiny lze měřit na základě objemových, hmotnostních či rychlostních parametrů průtoku. Samotné měření můžeme rozdělit na přímé a nepřímé metody. Mezi přímé metody patří měření pomocí dávkovacích senzorů či čerpadel a mezi nepřímé můžeme zařadit měření na základě rychlosti nebo kinetické energie.

#### Indukční průtokoměr

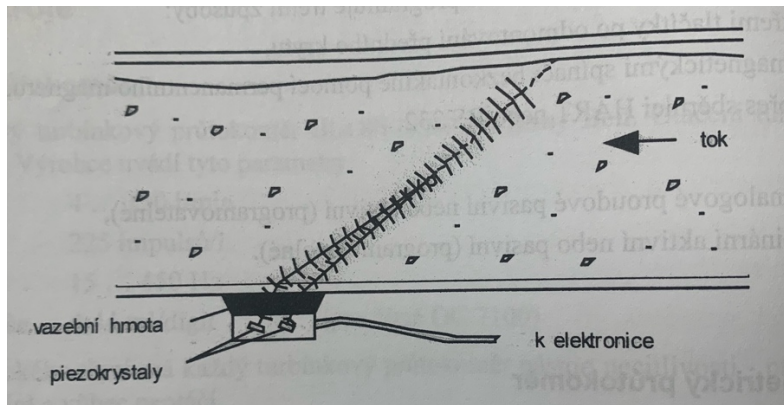
Indukčního průtokoměru je založený na měření indukovaného napětí na elektrodách umístěných v kapalině kolmo na směr proudění a směru magnetického pole, kterému je kapalina vystavena. Funkce průtokoměru se obvykle zakládá na Faradayově zákonu, dle kterého závisí velikost indukovaného napětí na délce vodiče, rychlosti a na kolmém magnetickém poli definované indukci. Některé zdroje ovšem uvádějí jako názornější vysvětlení principu založené na vzniku napětí na elektrodách v důsledku působení Lorentzova zákona. [2]



**Obrázek 25:** Princip indukčního průtokoměru [27]

## Ultrazvukový průtokoměr

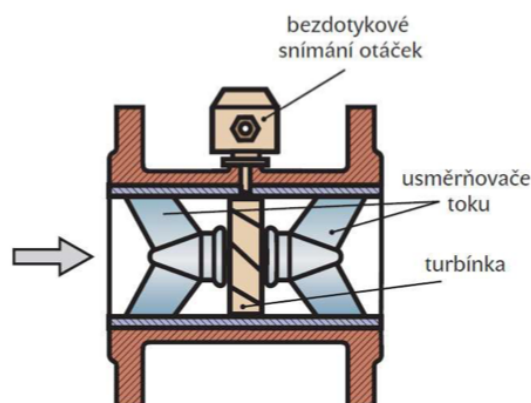
Pro měření rychlosti proudění tekutiny je využito ultrazvukového vlnění. Princip tohoto měření se zakládá na Dopplerově principu. Do tekutiny jsou vysílány ultrazvukové vlny s konstantní frekvencí, která se odrazí od pevných částic nebo bublin v tekutině a v závislosti na pohybu těchto částic se změní frekvence vln, které jsou přijímány zpět. Rozdíl těchto frekvencí je úměrný rychlosti proudění tekutiny. Výhodou použití těchto typů sensorů je to, že se jedná o bezkontaktní průtokoměry a tedy nezpůsobují žádnou tlakovou ztrátu. [2]



Obrázek 26: Princip ultrazvukového průtokoměru [1]

## Turbínkový průtokoměr

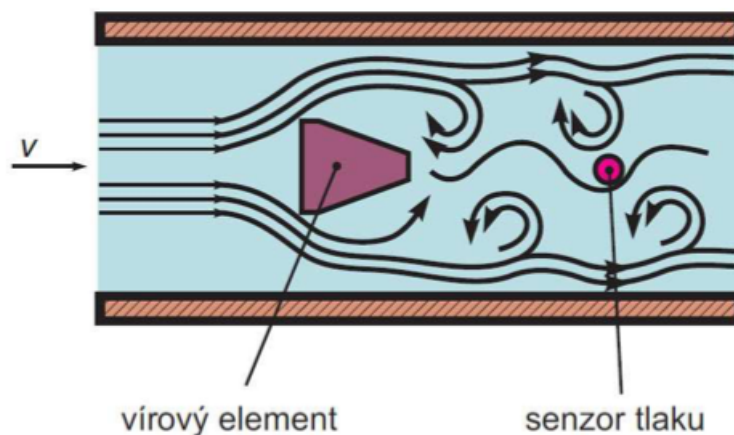
Uvnitř turbínkového průtokoměru je umístěn rotor s lopatkami, který se vlivem proudění tekutiny otáčí. Otáčky se snímají obvykle bezdotykovým indukčním snímačem a výstupem jsou napěťové impulsy, které se dále vyhodnocují. Otáčky rotoru jsou přímo úměrné rychlosti proudění tekutiny. Turbínkové průtokoměry mají omezený rozsah použití, nelze je využít pro měření tekutin, které při proudění víří a nedoporučují se pro použití pro tekutiny s velkou viskozitou. Nevýhodou je tlaková ztráta průtokoměru a vzhledem k pohyblivým částem náchylnost na opotřebení a usazování nečistot. [2]



Obrázek 27: Turbínkový průtokoměr [27]

## Vírový průtokoměr

Základ vírového průtokoměru je postaven na von Karnamově efektu. Uvnitř průtokoměru je umístěna neaerodynamická překážka, kterou obtéká tekutina a na obou stranách se oddělují víry, které tvoří tzv. von Karmanovu stezku. V určitém rozsahu Reynoldsova čísla je rychlost proudění tekutiny úměrná frekvenci vzniku vírů. Vznik těchto vírů je doprovázen změnou tlaku nebo rychlosti, což je snímáno vhodným senzorem a převedeno na elektrický signál. Výhoda tohoto typu průtokoměru je v malé citlivosti na změny teploty, tlaku nebo hustoty měřeného média. Nevýhoda spočívá v tom, že za pomoci této metody nelze měřit malé průtoky tekutin. [2]



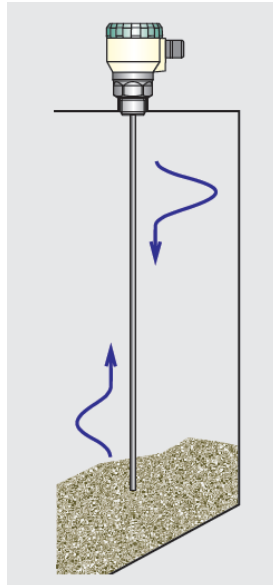
Obrázek 28: Tvorba víru za přepážkou [27]

### 5.1.1.2.2. Sensory výšky hladiny

Hladinu vody můžeme měřit pomocí spojitých či nespojitých senzorů hladiny. Díky moderním technologiím bylo možné přejít od elektromechanického plovákového systému k čistě elektronickým snímačům s vysokou přesností. V současné době je na trhu několik různých druhů hladinoměrů, které se v principu liší použitou metodou měření. Mezi ty nejběžnější patří následující senzory pro měření výšky hladiny.

#### Radarové hladinoměry s vedenou vlnou

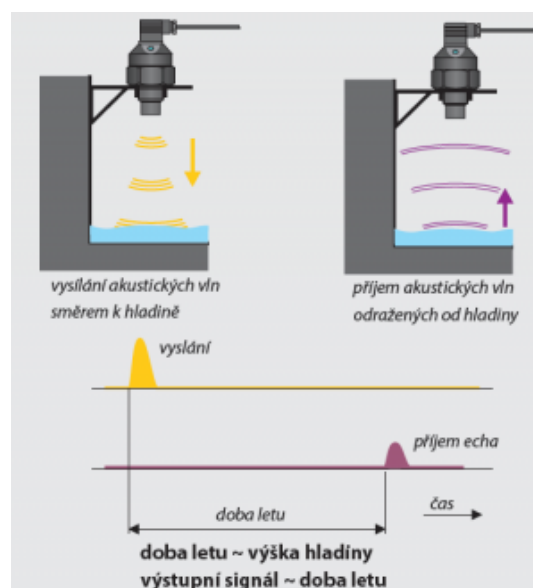
Radarový nebo také impulsní hladinoměr je založen na metodě TDR (Time Domain Reflectometry). Principem je měření doby odrazu elektrického signálu od aktuální výšky hladiny. Doba od vyslání do přijetí pulsu je přímo úměrná výšce hladiny. Elektrický impuls se šíří po jednovodičovém vedení v podobě tyče nebo lana jako elektromagnetická vlna směrem k hladině. Zde se částečně odráží a odražená složka se vrací zpět do přijímacího modulu. Elektronika pak měří dobu letu, kterou následně přepočítá na výšku. Výhodou je odolnost měření proti změnám okolních podmínek nad hladinou i samotného měřeného média. Nevýhodou je neustálý kontakt elektrody s měřeným produktem.



**Obrázek 29:** Princip radarového hladinoměru [23]

### Ultrazvukové hladinoměry

Měření pomocí ultrazvukového hladinoměru spočívá ve vysílání akustických vln v podobě ultrazvukových impulsů, které se šíří od snímače směrem k hladině. Na hladině dojde k odrazu a vlny se šíří zpět k hladinoměru, kde jsou přijaty a přeměněny na elektrický signál. Z doby letu pulsů, od vyslání až po příjem, je následně proveden přepočít na vzdálenost mezi čelem snímače a hladinou, resp. přepočít na výšku hladiny. Tato hodnota je pak zpracována a vysílána pomocí analogových signálů nebo jako číselná hodnota pomocí komunikační sběrnice. Hlavní výhoda spočívá v tom, že snímač není v přímém kontaktu s médiem a nedochází tak k vzájemné interakci. Nevýhoda je ve změně okolního prostředí nad hladinou, která může ovlivnit přesnost měření.

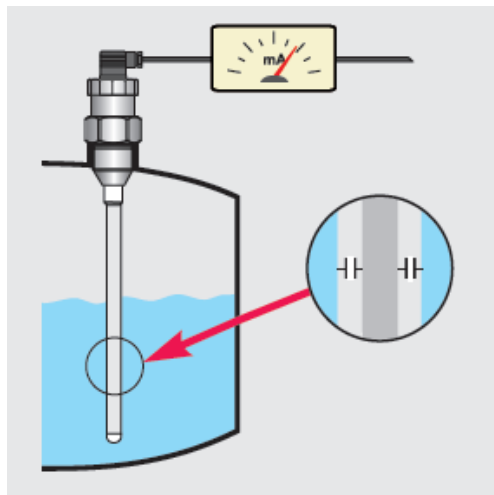


**Obrázek 30:** Princip ultrazvukového hladinoměru [23]



## Kapacitní hladinoměry

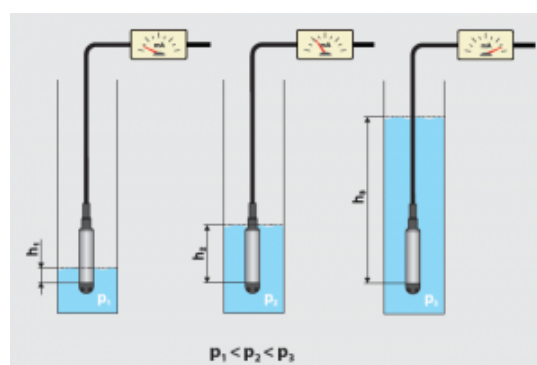
Princip měření pomocí kapacitních hladinoměrů spočívá v měření změny elektrické kapacity způsobené změnou výšky hladiny. Snímací část hladinoměru je tvořena elektrodou, která je umístěna do měřeného média. Pokud se hladina média zvýší dojde k většímu zaplavení elektrody a tedy i změně jeho kapacity. Změna kapacity je následně přepočtena na výšku hladiny. Výhodou je rychlost měření a vysoká odolnost na podmínky uvnitř nádrže. Nevýhoda spočívá v přímém kontaktu snímací části s médiem.



Obrázek 31: Princip kapacitního hladinoměru [23]

## Hydrostatické hladinoměry

Na rozdíl od všech ostatních měřících metod je snímací část hydrostatického hladinoměru trvale ponořena pod vodou. Principem je přímá závislost hydrostatického tlaku na výšce sloupce hladiny. Za pomoci konstantních parametrů, tedy hustoty kapaliny a gravitačního zrychlení, můžeme přímo určit výšku hladiny měřeného média. Při změně výšky hladiny se změní i hydrostatický tlak. Výhoda souvisí s trvalým ponořením snímací části do měřeného média. Jedná se o nezávislost měření vůči tvorbě pěny či jiným změnám na hladině média. Další výhodou spočívá v rozsahu měření, kde nám hydrostatický hladinoměr umožňuje měření až do hloubky 100 m. Nevýhodou je využití metody pouze na kapalné médium a také přímá závislost měření na hustotě kapaliny.



Obrázek 32: Princip hydrostatického hladinoměru [23]

### **5.1.2. Data pro správu objektu**

Do digitálního dvojčete je možné zapojit i systémy pro správu statických dat obsažených ve správcovských platformách jako je CMMS. Díky tomu je možné model doplnit o data nutná pro opravy a údržbu nebo například zaznamenávat data o opravách, jaký technik opravu provedl a jiné. To správci objektu umožní efektivnější práci a díky kopiím smluv, záznamům o opravě a dalším dokumentům je to další krok k vyšší digitalizaci stavebnictví.

#### **5.1.2.1. CMMS**

CMMS je software pro počítačové řízení údržby, který centralizuje informace o údržbě a tím usnadňuje jejich procesy. Základem tohoto systému je jeho databáze. Jeho datový model organizuje informace o zařízeních, majetku a jiných zdrojích, které má organizace ve správě. Systém podporuje různé funkce jako řízení zdrojů a pracovníků, evidenci majetku, správu materiálů a zásob či vykazování, analýzu a audit. V naší aplikaci se jedná primárně o přínos tohoto systému a jeho dat v podobě organizace zařízení, jejich evidence, evidence oprav a možnost preventivní údržby.

#### **5.1.2.2. Záznamy o údržbě**

Do modelu lze za pomoci platformy vkládat data o revizích, údržbě či jiném zásahu do systému. Tato data je možné zaznamenat pomocí poznámek přímo k systémovým prvkům, kterých se oprava týká, a nahrát další podklady, jako jsou faktury, zprávy a další dokumenty, které mohou sloužit pro další opravy či případně pro prokazování revizí. Do určité míry tedy lze digitalizovat správu budovy.

## **5.2. Vrstva digitálního modelování a doplňkových dat**

Vrstva digitálního modelování a doplňkových dat představuje právě digitální model (v ideálním případě informační) a další data, která buď informační model obsahuje nebo jsou doplněny externí formou. Data obsažena v informačním modelu jsou především data o fyzikálních vlastnostech konstrukcí, ale také objemové, dispoziční nebo například umístění objektu a jeho orientaci ke světovým stranám. Všechny tyto parametry přímo ovlivňují kvalitu prostředí i funkci technických systému budovy. V určitých případech je tato vrstva v podstatě vrstva vstupní. Veškerá tato data definují okrajové podmínky pro komplexní pohled na objekt a pomohou nám definovat data, která jsou nutná ke správnému stanovení rozhodovacích procesů.

Pro různé použití digitálních dvojčat lze využít různé druhy vstupních modelů. Jako příklad lze uvést energetický model, který je vhodný pro energetickou simulaci a model, který je založený na agentech, vhodný pro modelování různých scénářů, podporu rozhodování a případně pro prediktivní funkce. [12]

### 5.2.1. Objemová a dispoziční data

Pokud je digitální dvojče tvořeno z existujícího BIM modelu je velkou výhodou to, že informační model v sobě již obsahuje spoustu dat, která umožní lepší komplexní posouzení chování objektu. Jednou skupinou těchto dat jsou objemová a dispoziční data. Tato data lze získat i jiným způsobem než pomocí informačního modelu, ale vzhledem k tomu, že fyzické uzly senzorů jsou přímo napojeny na jednotlivé místnosti tak, aby se v rámci objektu mohly vykreslit tepelné mapy, je vhodné, aby tyto parametry již byly v rámci modelu obsaženy. Pokud je digitální dvojče tvořeno z jiného typu modelu lze tyto informace doplnit pomocí nástrojů společnosti Autodesk a definovat tak jednotlivé zóny objektu.

### 5.2.2. Fyzikální parametry použitých materiálů

Informační model má výhodu také v tom, že obsahuje informace o jednotlivých použitých materiálech, jejich fyzikálních vlastnostech a fyzikálních vlastnostech obalových konstrukcí modelu. Tato skupina vlastností není pro běžné uživatelské využití modelu příliš důležitá, ale v případě analýzy chybného chování modelu může pomoci odborníkům definovat problém v systému.

### 5.2.3. Kategorie prvků

Pro správu objektu a inventáře je vhodné, aby model obsahoval jednotlivé kategorie použitých prvků. Na základě těchto prvků lze pak model kategorizovat a mít tak přehled o vybavení objektu. Samozřejmě zde záleží na úrovni informačních dat obsažených v informačním modelu.

## 5.3. Přenosová vrstva

Jednou z nejsložitějších vrstev v rámci digitálního dvojčete je vrstva přenosová. V této vrstvě dochází k transformaci dat do vyšších vrstev systému. Zde jsou data, která byla ve vrstvě získávání dat nasbírána z fyzických zařízení, zpracována a pak dále integrována do virtuální kopie objektu. Problémem této vrstvy je především standardizace dat. Data, která přicházejí z různých zdrojů mohou mít rozdílné formáty, což může způsobit problémy. Tato vrstva využívá různé komunikační technologie jako je 5G síť, nízkoenergetické rozlehlé sítě LP-WAN, WIFI, bezdrátové senzorové sítě WSN či technologii místní bezdrátové sítě WLAN. [12]

### 5.3.1. Problémy při zpracování dat

Problémy při zpracování dat mohou být následující:

- Kvalita zpracovávaných dat může být ovlivněna přímo kvalitou procesu extrakce dat z vlastních zdrojů. Tedy při zpracování dat ze senzoru je kvalita ovlivněna přímo.
- Špatná kvalita dat, která jsou do systému dodána v rámci interních či externích zdrojů dat. Tedy buď poškozená data v modelu či senzoru.

- Ztráta kvality dat při abstrakci dat. Při zpracování duplicitních nebo jinak nevhodných dat může vzniknout proces, který tato data neopraví, čímž se do systému mohou dostat špatná data. Ztráty kvality či chybného vyčítání dat může být způsobena chybnou abstrakcí dat. Abstrakce je v podstatě chybná interpretace informace, která může vzniknout při vyčítání stejných hodnot z různých částí systému. Například, pokud vyčítáme teplotu chladiče a zároveň teplotu spalovací komory ze kterých má plynout teplota motoru. Výsledkem je tedy kontextová ztráta skutečného umístění měření. Systém není schopen správně určit místo měření, a tedy výsledkem je chybná hodnota. [12]
- Při přepracování dat v rámci přenosové vrstvy může dojít ke ztrátě kvality, protože data přicházejí z různých zdrojů, které kladou na data různé požadavky. [12] Tento problém je tedy v heterogenitě zpracovávaných dat. Velké množství dat, získané z různých zdrojů a v jiném formátu, představuje výzvu při jejich zpracování. To znamená, že veškeré komunikační a spojovací protokoly musejí být standardizovány, aby byla zajištěna interoperabilita systému. Neexistuje globální jedinečný identifikátor pro datové záznamy v různých systémech. Tomuto problému se říká propojení entit, propojení záznamů, rozlišení entit, párování dat a reduplikace dat. [20]

### 5.3.2. Nároky na systém při zpracování dat

Prvním důležitým nárokem na systém při zpracování dat je paměť systému. Vzhledem k tomu, že požadavek na digitální dvojče je takový, aby bylo schopné zobrazovat data v reálném čase a zároveň tato data ukládat jako data historická v určitém časovém rozpětí, jsou nároky na paměť výrazné. První řešení spočívá ve vybudování hardwarového uložení, které si ovšem klade vysoké nároky na dispoziční požadavky a také se jedná o finančně velice nákladné řešení. Jako jeho největší přednost je jednodušší ochrana dat.

Druhým řešením tohoto problému je vytvořit pro systém cloudové uložení. Zde je však nutné více myslet na problém ochrany dat. Vzhledem k tomu, že se v případě dat ze soukromých i veřejných objektů jedná o často velmi citlivá data, která mohou znamenat zásah do soukromí uživatelů či zaměstnanců, nebo případně i informace o různých funkcionalitách objektu, jako je například zabezpečovací systém, je nutné data chránit a navrhnout vhodné systémy autentizace a autorizace, aby data byly v každé komunikační fázi chráněny před zásahy třetí strany.

## 5.4. Integrační vrstva

Jádrem celé systémové architektury je právě integrační vrstva. Tato vrstva umožňuje ukládat data, modely a přetváří je v to čemu pak můžeme říkat digitální dvojče. V podstatě spojuje vrstvu získávání dat, vrstvu digitálního modelování a doplňkových dat a vytváří tak komplexní celek, který je možné vizualizovat. V této vrstvě přichází na řadu analýza dat, jejich zpracování, vyhodnocení a na základě statistik také rozhodovací procesy.

Zde dochází k aktualizaci dat dle předepsaných parametrů. To umožňuje této vrstvě vizualizovat data, čímž dosáhne dynamické a efektivní správy dat.

V této vrstvě dostávají prostor technologie, jako je umělá inteligence, moduly strojového učení atd., které poskytují operativní pokročilé řízené rozhodování. [12]

### 5.4.1. Internet věcí (IoT)

Pro automatizaci aktualizace parametrů v IFC modelu je možné využít senzorickou síť využívající hlavní protokoly technologií IoT. Spojení mezi digitálním a fyzickým světem je distribuováno kyneticko-fyzikálním systémem schopným sbírat data jednotlivými uzly IoT a komunikovat a ukládat je do IFC pomocí softwaru pro aktualizaci modelu.

Protože mnoho vývojářů čelí problémům s relačními databázemi rozhodli se použít relační databáze distribuované přes brány IoT přítomné v platformě. To překonává běžný problém, kterým je nutnost aktualizace exportované databáze pomocí komerčních BIM prostředí.

Výhoda využití IoT databáze je především v tom, že tento přístup je zcela nezávislý na BIM modeláři. Neexistuje přímý kontakt mezi modelovacím prostředím a sítí senzorů IoT. Jedná se o dvě oddělené prostředí, jejichž data jsou propojena v aplikační vrstvě.

Další výhoda spočívá v tom, že pro aktualizaci IFC je použit komunikační protokol MQTT, který je snadno přizpůsobitelný a škálovatelný i s ohledem na modely uložené na cloudu.

Výhodou využití systému IoT je poskytnutí bezdrátového připojení pomocí protokolů, které jsou místní i přes internet. Další výhodou bezdrátového připojení je senzORIZACE i již existujících budov či nasazení agentů na cloudové systémy, jejichž cíl kontroly je více orientován na přesnou analýzu dat. [14]

#### 5.4.1.1. Komunikační protokol MQTT

MQTT byl navržen pro komunikaci mezi stroji. Původně nebyl designován pro internetovou bezpečnost, ale za 20 let vznikly knihovny, které se tomuto tématu věnují.

Je to systém založený na poskytovateli (broker), který vyvíjí typický internetový protokol založený na principu požadavek-odpověď. Broker funguje jako prostřední systém mezi vydavatelem (provider) a spotřebitelem (customer) dat. Vychází z konceptu tématu a když přihlášený uzel publikuje nová data, broker tyto informace přesměruje na jeden nebo několik příslušných uzlů, pro které jsou tato data užitečná. V závislosti na povaze dat je možné implementovat různé mechanismy kvality služeb.

Hlavní výhodou technologie založené na asynchronních zprávách, jako je MQTT, spočívá v tom, že existuje agnostické řešení technologie/programovacího jazyka, protože všechny tyto protokoly jsou založeny na TCP-IP s abstrakcí.

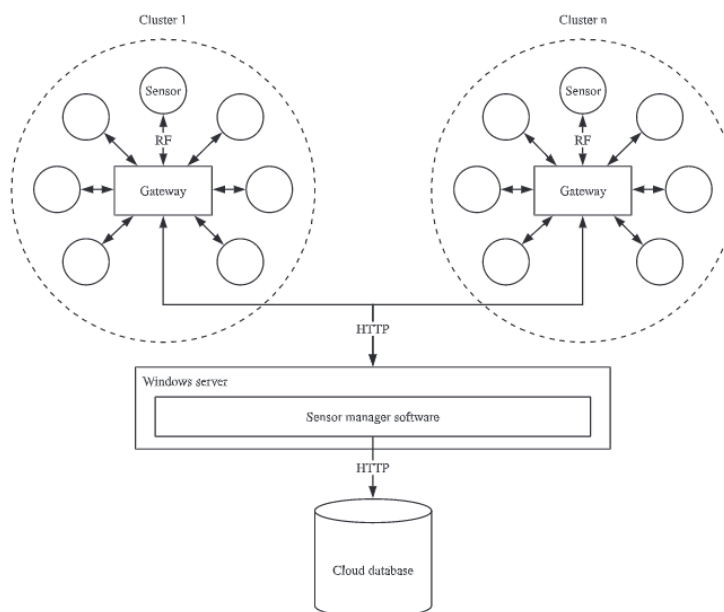
Další výhodou takového systému je v tom, že uzly sensorové sítě jsou dotazovány centralizačním systémem, aniž by centrální systém předem znal IP adresu každého zdroje dat. Což znamená že není nutné bodové spojení.

MQTT se v porovnání s ostatními protokoly jeví jako dobrý kompromis mezi odlehčeným protokolem a komunikačním systémem, který zaručuje vysokou úroveň abstrakce. Dalším důležitým aspektem tohoto mechanismu, založeného na publikování/přihlášení na brokera je, že softwarová aplikace může v závislosti na tématu současně představovat poskytovatele (provider) dat a spotřebitele (customer). To definuje typickou komunikaci klient – server. [14]

#### 5.4.2. WSN

WSN označuje soubor distribuovaných a vyhrazených senzorů pro monitorování a záznam podmínek prostředí a zařízení. Bezdrátová sensorová síť se skládá z uzlů. V rámci této sítě jsou uzly senzorů a uzly brány. Uzly senzorů měří různé parametry prostředí či zařízení samotného (např. antimasking). Uzly brány fungují jako spojovací most mezi místními senzory a vzdálenými aplikacemi jako jsou cloudové databáze či webové stránky. [10]

WSN získal na pozornosti s nástupem internetu věcí a rozšířením mikro-elektromechanických systémů. Dokáže díky nim být chytřejší vzhledem k větším výpočetním schopnostem a levnější, zásluhou příznivější ceny součástek. WSN komunikuje na základě radiových frekvencí. [14]



**Obrázek 33:** Schéma WSN pro získávání dat [12]

### **5.4.3. Cloudová platforma Microsoft Azure**

Microsoft Azure je cloudová platforma, která zahrnuje různé produkty a služby, které je možné mezi sebou vzájemně kombinovat a vytvářet tak specifická řešení. Azure obsahuje služby poskytující datovou analýzu, strojové učení či služby správy zařízení internetu věcí a mnoho dalších, které mohou být užitečné právě při tvorbě digitálních dvojčat. Platforma nabízí jednoduché open source řešení, které umožňuje kombinovat služby dle potřeb konkrétní aplikace. Je možné ji využít jako nástroj, který data sbírá, analyzuje a pak za pomoci datových adaptérů přímo propojit s digitálním dvojčetem. To nabízí rozšíření služeb a může poskytnout další nástroje pro práci s objektem.

#### **5.4.3.1. Microsoft Azure IoT**

Pomocí Azure IoT služeb lze shromažďovat data ze senzorů, ukládat je a zobrazovat. Lze tedy provádět monitoring a analýzu dat. Dále lze tyto služby doplnit o služby poskytující strojové učení Azure AI.

##### **5.4.3.1.1. Microsoft Azure IoT Hub**

Služba Azure IoT Hub umožňuje back-end řešení hostované v cloudu. Díky této službě je možné připojit prakticky jakékoliv IoT zařízení a provádět obousměrnou komunikaci. Lze tedy ze zařízení data sbírat a posílat zprávy do dalších služeb Azure, ale také nastavit ruční či automatizované zpětnovazební řízení, díky kterému lze zařízení vzdáleně ovládat a přizpůsobovat jeho funkce na základě individuálního dotazu či datové analýzy.

###### **5.4.3.1.1.1. Device update for IoT Hub**

V budovách je obrovské množství IoT zařízení, které je kvůli bezpečnosti a správné funkci nutné udržovat aktuální. To se dá řešit manuální aktualizací, což je ovšem řešení, které vyžaduje neustálý dohled a je tedy finančně i časově náročné. Další možností je vytvoření vlastní aktualizací platformy, což ovšem znamená dodatečné náklady na vývoj. Microsoft Azure poskytuje službu, která umožňuje nasazení OTA (over-the-air) pro IoT zařízení. Je tedy možné nasazovat bezletové aktualizace pro všechna zařízení, od senzorů až po zařízení na úrovni brány, a udržet tak IoT řešení bezpečné a zvýšit produktivitu aplikace.

###### **5.4.3.1.2. Microsoft Azure IoT Central**

Tato služba je postavena na základech IoT Hubu a v podstatě ho zjednodušuje a poskytuje uživateli větší přehled o spravovaných IoT zařízeních. Její hlavní výhodou je předpřipravený přístrojový panel odkud lze zobrazit, připojit se a ovládat zařízení. Pomocí grafického rozhraní umožňuje rychlé a snadné připojení nových zařízení. Pomocí této služby lze monitorovat stav zařízení, jeho celkovou výkonnost či odesílání telemetrie nebo chybových zpráv. Zde je možné nastavit výstrahy, které odešlou oznámení, pokud bude některé ze zařízení potřebovat údržbu. Jedná se o zjednodušené grafické rozhraní pro uživatelský monitoring a základní správu IoT zařízení.

#### **5.4.3.1.3. Microsoft Azure Sphere**

Jedná se o zabezpečenou aplikační platformu na vysoké úrovni s integrovanými komunikačními a bezpečnostními funkcemi pro zařízení připojených k internetu. Tato služba poskytuje vyšší standard zabezpečení a hodí se tedy spíše k aplikacím požadující vyšší úroveň zabezpečení.

#### **5.4.3.2. Microsoft Azure AI**

Platforma Azure poskytuje i služby umožňující integraci umělé inteligence do aplikací. K aplikaci umělé inteligence existují dva přístupy, prvním je tzv. hluboké učení, které se modeluje na neuronové síti lidské mysli a umožňuje systému objevovat, učit se a růst. Druhým přístupem je strojové učení, což je technika datových věd, která na základě existujících dat natrénuje a otestuje model. Podle výsledků těchto testů se aplikují na model nová data a může tak predikovat budoucí chování, výsledky či trendy v systému. Aplikace platformy Azure umožňují k systémům sběru a analýzy dat připojit služby, které na základě buď již předem vytvořených modelů predikují budoucí stav zařízení, či na základě již naměřených dat předpovídají a učí se.

##### **5.4.3.2.1. Microsoft Azure Machine Learning**

Tato služba poskytuje nástroje a služby, které umožňují připojovat se k datům. Vývojem a testováním modelu zjistí, který z nich nejlépe předpoví budoucí výsledek. Platforma dokáže vytvářet předpovědi, trénovat a vyhodnocovat prediktivní modely na základě datových věd. Pomocí algoritmů založených na trénování a testování dat, služba vyhodnotí nejlepší výsledek. Ten je pak možné nasadit pomocí koncového bodu rozhraní API, aby ho mohly využívat v reálném čase ostatní aplikace.

##### **5.4.3.2.2. Microsoft Azure Cognitive Services**

V rámci této služby, na rozdíl od Machine Learning, lze najít již předpřipravené modely strojového učení. Tyto modely jsou již vytrénované, a tak je možné aplikovat je přímo na vlastní živá data. Odpadá tedy nutnost model předem trénovat a je možné zahrnout je do aplikace pomocí několika řádků kódu. Azure Cognitive Services poskytuje jazykové, řečové, zrakové a rozhodovací služby, díky kterým je možné naučit aplikaci vidět, slyšet, mluvit, rozumět, a dokonce i začít přemýšlet. V rámci vývoje digitálního dvojčete se jedná o službu, která je díky rámcovému vymezení modelů výrazně omezena.

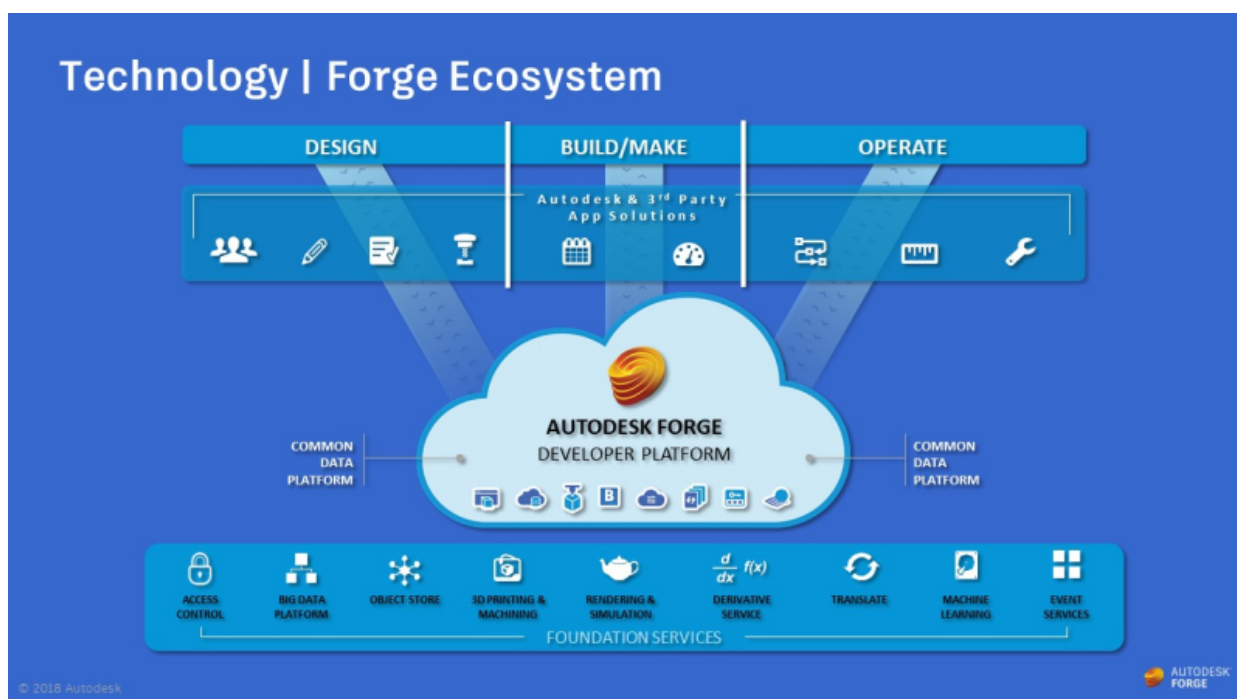


## 5.5. Aplikační vrstva

V rámci aplikační vrstvy je digitální dvojče představeno uživateli jako např. webová aplikace. Jedná se o komunikační vrstvu, která zjednodušuje celý proces tak, aby byl přijatelný pro "poučeného uživatele" či uživatelsky přívětivý pro správce budovy. Zjednodušeně řečeno, jedná se o ovládací prostředí, které zároveň vizualizuje získaná data a umožňuje správcům nastavovat určité funkcionality tak, aby bylo dosaženo uživatelského komfortu. [12] Aplikační vrstvou může být právě uživatelské prostředí aplikace Autodesk Projekt Hyperion viz kap. 7.1.3.1. běžící na cloudové platformě Forge.

### 5.5.1. Autodesk Platforma Forge

Platforma Forge je kódovací platforma, na které běží nástroje společnosti Autodesk. Tato platforma umožňuje jejich kombinaci, čímž lze snadněji dosáhnout efektivního využití těchto nástrojů. „Rozhraní Forge API jsou jako kostky LEGO, ale když na ně šlápnete, nebolí vás nohy.“ [30] V zjednodušené formě se dá říct, že platforma Forge je nástroj, díky kterému lze vytvořit vlastní aplikaci a přizpůsobit ji tak požadovaným funkcím. Platforma nabízí širokou škálu již připravených API, které lze pomocí programovacích nástrojů upravovat či spojovat a vytvořit tak vhodné prostředí pro správu objektu nebo právě digitální dvojče. Jedná se o open – source platformu, která umožňuje volný přístup ke zdrojovým kódům jednotlivých aplikací, což je umožňuje modifikovat dle aktuálních požadavků.



Obrázek 34: Autodesk Platforma Forge [30]

## 6. TiCo House

Pro tvorbu digitálního dvojčete byl využit experimentální objekt TiCo (Timber-Concrete) House, který vznikl v rámci experimentální spolupráce mezi dvěma významnými výrobci stavebních konstrukcí RD Rýmařov s.r.o., ŽPSV s.r.o. a výzkumného ústavu Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT v Praze. Společnost RD Rýmařov s.r.o. se zabývá výrobou prefabrikovaných dřevostaveb a společnost ŽPSV s.r.o. zajistilo výrobu nosné železobetonové prefabrikované konstrukce. Hlavním principem tohoto objektu je spojení těchto dvou technologií a využití silných stránek obou materiálů a zároveň eliminace jejich nevýhod.



*Obrázek 35: Vizualizace TiCo house [39]*

### 6.1. Popis objektu

Experimentální objekt se fyzicky nachází v areálu UCEEB ČVUT v Buštěhradu. Jedná se o dvoupodlažní nepodsklepený objekt, ve kterém se nachází celkem tři bytové jednotky, technické zázemí a společné komunikační a skladovací prostory. V rámci experimentu je každá bytová jednotka odlišná a každá z nich má využity jiné technologie pro zajištění vytápění, vzduchotechniky a přípravy teplé vody, aby bylo možné porovnat jejich provoz a schopnost zajištění kvality vnitřního prostředí v závislosti na použité technologii. Bytové jednotky jsou dle jejich dispozičních a technických parametrů rozděleny do tří kategorií – Low cost, Standard a Comfort.

### **6.1.1. Urbanistické řešení**

Umístění objektu TiCo vychází ze zastavovacího plánu experimentální plochy UCEEB ČVUT. Objekt je umístěn v jižní části experimentální plochy na východní straně blíže ke komunikaci. Hlavní vchod do objektu je orientován směrem na experimentální plochu UCEEB. V blízkosti objektu se nachází technologický objekt, který je situován severovýchodním směrem a je od objektu vzdálen cca 12,0 m. V okolí se nachází další experimentální objekty UCEEB.

### **6.1.2. Architektonické řešení**

Tvarové řešení odpovídá jeho účelu. Jedná se o jednoduchý kvádr tvořený ze 2x2 polí skeletového systému se dvěma nadzemními podlažími. Experimentální objekt je pouze částí plnohodnotného objektu, který je navržen jako 2x3 pole s 5 nadzemními podlažími. Půdorysné rozměry objektu jsou 12,0x11,0 m, je zastřešen plochou střechou, výška atiky je 6,7 m.

### **6.1.3. Dispoziční a provozní řešení**

Hlavní vchod do objektu je umístěn na severní straně. Po vstupu do objektu se na pravé straně nachází technická místnost a po levé je úklidová místnost. Z tohoto prostoru je vstup přímo na hlavní vertikální komunikaci, kterou zajišťuje tříramenné schodiště.

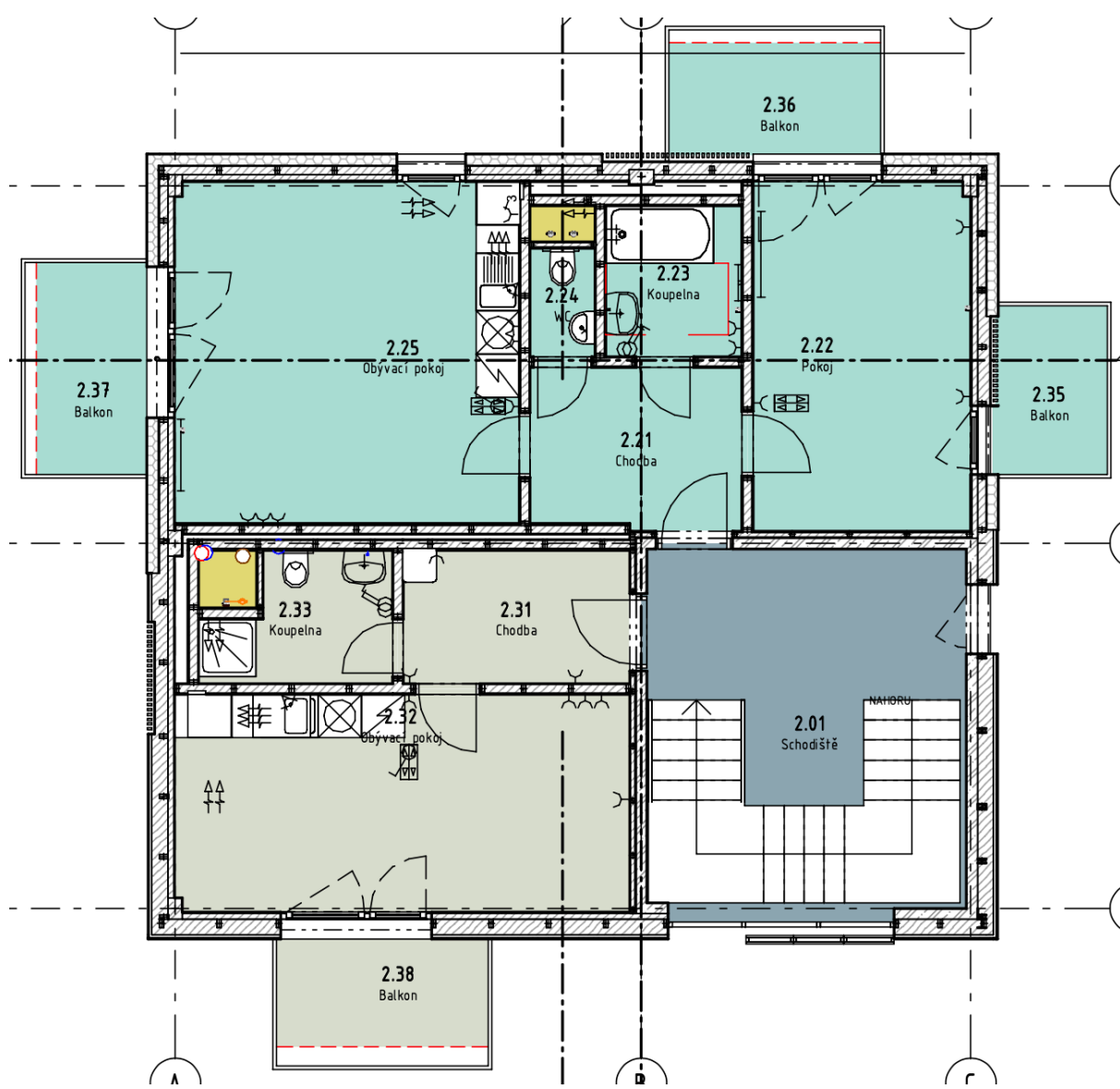
V objektu se nachází tři bytové jednotky různých kategorií. V prvním nadzemním podlažím je umístěna jednotka Comfort a ve druhém nadzemním podlaží se nachází jednotka Standard a Low cost. Přístup do těchto jednotek je zajištěn společným komunikačním prostorem. V prvním nadzemním podlaží je mimo bytové jednotky Comfort umístěno ještě technické zázemí objektu a společné skladovací zázemí.

#### **6.1.3.1. Low cost**

Low cost je nejmenší bytová jednotka o podlahové ploše 29,2 m<sup>2</sup>. Skládá se ze vstupního zádveří, obývacího pokoje a koupelny s WC. Vytápění je zde zajištěno pomocí elektrických přímotopů v kombinaci s tepelným čerpadlem vzduch/vzduch. Větrání je zajištěno podtlakovým nuceným systémem pomocí okenní štěrby a odtahovým ventilátorem s talířovými ventily, které jsou umístěny v koupelně a kuchyni. Pro přípravu teplé vody tato bytová jednotka využívá lokální ohřev pomocí samostatného zásobníku TV o objemu 125 l.

### 6.1.3.2. Standard

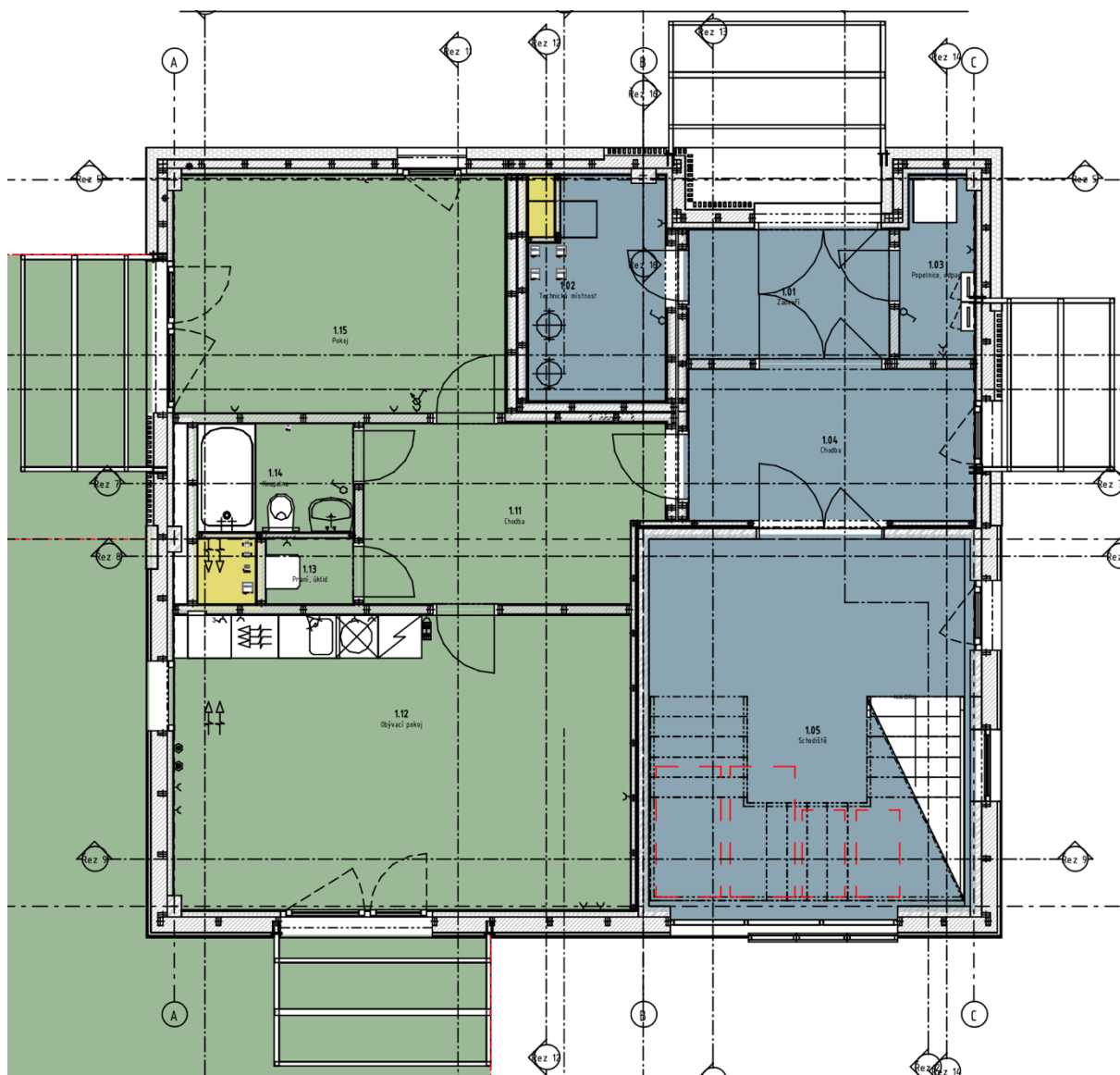
Jednotka Standard má podlahovou plochu 49,6 m<sup>2</sup> a skládá se ze vstupní chodby, obývacího pokoje, pokoje, koupelny a samostatného WC. Vytápění je zde zajištěno pomocí teplovodního vytápění distribuované pomocí deskových otopných těles. Ohřev teplé vody pro vytápění je zajištěn tepelným čerpadlem. Pro zajištění větrání bytu je použito decentrální větrání pomocí jednotek IV-Smart. Mezi jednotlivými místnostmi je vzduch distribuován za pomoci mezery pod dveřním křídlem o min. výšce 10 mm. Odvod vzduchu je řešen ventilátorem s talířovými ventily umístěnými v koupelně a kuchyni. Příprava teplé vody pro jednotku zajišťuje společný zásobník, který je určen pro jednotku Standard a Comfort a je napojen na tepelné čerpadlo. Je zde proveden cirkulační okruh. Zásobník teplé vody je připojen i na fotovoltaický systém v případě přebytků elektrické energie v letních měsících.



**Obrázek 36:** Barevné schéma Půdorys 2.NP TiCo House [Autodesk Revit]

### 6.1.3.3. Comfort

Bytová jednotka Comfort je největší jednotkou, její podlahová plocha je 55,1 m<sup>2</sup> a skládá se ze vstupní chodby, obývacího pokoje, pokoje, koupelny a samostatného WC. K bytu náleží terasa o výměře 51,8 m<sup>2</sup>. Vytápění v této bytové jednotce je zajištěno pomocí teplovodního podlahového systému, které pro ohřev teplé vody využívá tepelného čerpadla. Větrání je zajištěno vzduchotechnickou jednotkou s rekuperací, která zajišťuje přívod čerstvého vzduchu a odvod odpadního vzduchu. Příprava teplé vody je zajištěna stejným způsobem jako v případě jednotky Standard.



Obrázek 37: Barevné schéma Půdorys 1.NP TiCo House [Autodesk Revit]

#### 6.1.4. Materiálové a konstrukční řešení

Konstrukce je navržena jako flexibilní stavební systém spojující hlavní výhody subtilního železobetonového systému na bázi vysokohodnotného betonu a lehkých nenosných konstrukcí na bázi dřeva. Samotný nosný konstrukční systém je tvořen železobetonovými prefabrikovanými prvky. Svislé nosné konstrukce tvoří sloupy 200x300 mm a železobetonové jádro okolo schodišťového prostoru s tloušťkou stěny 150 mm. Vodorovné nosné konstrukce tvoří železobetonové prefabrikované panely osazené na železobetonových nosnících. Výplň železobetonového skeletu je z prefabrikovaných dřevostavebních dílců ukládaných do kotev umístěných na železobetonové konstrukci.

##### 6.1.4.1. Skladby konstrukcí

V této kapitole jsou uvedeny skladby základních obalových a vnitřních konstrukcí, dle kterých byl následně upraven informační model tak, aby co možná nejpřesněji zrcadlil reálnou budovu.

Tabulka 1: Skladba obvodových stěn S1

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S1	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Nosný dřevěný rám 80/60 mm + Tep. izolace z MV	80	
	3	Parozábrana PE fólie	-	
	4	Nosný dřevěný rám 120/60 + Tep. izolace z MV	120	
	5	Deska FERMACELL	15	
	6	Horizontální dřevěný rošt 60/100 mm + Tep. izolace z MV	100	
	7	Difuzní fólie	-	
	8	Vertikální dřevěný rošt 40/60	40	
	9	Fasádní deska JAMES HARDIE	8	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,163	Celková tloušťka	378

**Tabulka 2:** Skladba obvodových stěn S2

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S2	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Nosný dřevěný rám 80/60 mm + Tep. izolace z MV	80	
	3	Parozábrana PE fólie	-	
	4	Nosný dřevěný rám 120/60 + Tep. izolace z MV	120	
	5	Deska FERMACELL	15	
	6	Horizontální dřevěný rošt 60/60 mm + Tep. izolace z MV	60	
	7	Difuzní fólie (UV stabilní)	-	
	8	Provětrávaná mezera + vertikální dřevěný rošt 30/60	30	
	9	Svislé dřevěné laťování 60/30	30	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,186	Celková tloušťka	380

**Tabulka 3:** Skladba obvodových stěn S3

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S3	1	ŽB prefa stěna	150	
	2	Vzduchová mezera	55	
	3	Deska FERMACELL	15	
	4	Parozábrana PE fólie	-	
	5	Nosný dřevěný rám 120/60 + Tep. izolace z MV	120	
	6	Deska FERMACELL	15	
	7	Horizontální dřevěný rošt 60/100 mm + Tep. izolace z MV	100	
	8	Difuzní fólie (UV stabilní)	-	
	9	Provětrávaná mezera + vertikální dřevěný rošt 40/60	40	
	10	Fasádní deska JAMES HARDIE	8	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,106	Celková tloušťka	503

**Tabulka 4:** Skladba mezibytových příček S4

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S4	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Deska FERMACELL	15	
	3	Nosný dřevěný rám 120/60 + izolace z MW	120	
	4	Přepavní fólie	-	
	5	Vzduchová mezera	20	
	6	Přepavní fólie	-	
	7	Nosný dřevěný rám 120/60 + izolace z MW	120	
	8	Deska FERMACELL	15	
	9	Deska FERMACELL	15	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,191	Celková tloušťka	320

**Tabulka 5:** Skladba vnitřních příček S5

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S5	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Nosný dřevěný rám 120/60 + izolace z MW	120	
	3	Deska FERMACELL	15	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		-	Celková tloušťka	150

**Tabulka 6:** Skladba vnitřních dělicích stěn S6

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S6	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Nosný dřevěný rám 120/60 + izolace z MW	60	
	3	Deska FERMACELL	15	
	4	Vzduchová mezera	20	
	5	ŽB Prefa stěna	150	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,568	Celková tloušťka	260



**Tabulka 7:** Skladba obvodových stěn S7

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
S7	1	Deska FERMACELL	15	
	2	Nosný dřevěný rám 80/60 + Tep. izolace z MV	80	
	3	Parozábrana PE fólie	-	
	4	Nosný dřevěný rám 120/60 + Tep. izolace z MV	120	
	5	Deska FERMACELL	15	
	6	Fasádní EPS 70 F	140	
	7	Stěrka + obkladové pásy	10	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,111	Celková tloušťka	380

**Tabulka 8:** Skladba podlahy na terénu P1

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
P1	1	Podsyp z drceného kameniva FR. 32-64	250	
	2	Základová deska Železobeton	150	
	3	Hydroizolace Np.+ GLASTEK 40 MINERAL SPECIAL	-	
	4	FERMACELLOVÝ Podsyp	20	
	5	Podlahový polystyren EPS 200 S	100	
	6	FERMACELLOVÝ Dílec	25	
	7	Podlahová krytina	10	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,267	Celková tloušťka	555

**Tabulka 9:** Skladba podlah P2

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
P2	4	FERMACELLOVÝ Podsyp	20	
	5	Dřevovláknitá deska 3x15mm	45	
	6	FERMACELLOVÝ Dílec	25	
	7	Podlahová krytina	10	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		1,234	Celková tloušťka	100

**Tabulka 10:** Skladba podlahy nad venkovním prostředím P3

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
P3	1	Stěrka + obkladové pásy	10	
	2	Fasádní EPS 70 F	140	
	3	ŽB Prefa stropní panel	250	
	4	FERMACELLOVÝ Podsyp	20	
	5	Dřevovláknitá deska 3x15mm	45	
	6	FERMACELLOVÝ Dílec	25	
	7	Podlahová krytina	10	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,153	Celková tloušťka	500

**Tabulka 11:** Skladba střechy P4

Skladba	Číslo	Vrstva	Tloušťka [mm]	
P4	1	ŽB Prefa stropní panel	250	
	2	Parozábrana asfaltový pás	-	
	3	Spádový polystyren EPS 150 S	250-350	
	4	Geotextilie	3,5	
	5	Hydroizolační vrstva PVC fólie FATRAFOL	1,5	
Součinitel prostupu tepla U [W/m <sup>2</sup> .K]		0,153	Celková tloušťka	500

**Tabulka 12:** Součinitele prostupu tepla U obvodových stavebních konstrukcí

Název skladby	Součinitel prostupu tepla [W/m <sup>2</sup> K]
Obvodová stěna 1 - zavěšený obklad	0,163
Obvodová stěna 2 - laťovaná	0,186
Obvodová stěna 3 - obklad imitace cihelného zdiva	0,111
Obvodová stěna 4 - schodiště	0,106
Podlaha na terénu	0,267
Podlaha nad venkovním prostředím	0,153
Střecha	0,112
Okna	1,000
Podlaha sousedící se společnými prostory	1,050
Stěna sousedící se společnými prostory	0,191

## 6.2. Technická zařízení objektu

V této části jsou popsány základní technická zařízení objektu. Vzhledem k tomu, že se jedná o experimentální objekt, který si klade za cíl ověřit vhodnost použití určité kategorie technických systému, nachází se zde více zařízení, než by bylo za běžných okolností nutné.

### 6.2.1. Zdroj tepla

Zdrojem tepla pro vytápění bytových jednotek Standard a Comfort je tepelné čerpadlo vzduch-voda HOTJET mini 5Ai s integrovaným třífázovým topným tělesem o výkonu 3 kW. Je vybaveno třicestným ventilem pro přepínání mezi vytápěním a přípravou teplé vody a oběhovým čerpadlem otopné soustavy. Tepelné čerpadlo je umístěno v technické místnosti 1.02, přívod vzduchu k čerpadlu je zajištěn pomocí tepelně izolovaného potrubí SONO 250 z fasády přes dešťovou žaluzii a odvod vzduchu je na střechu tepelně izolovaným potrubím SPIRO 250. Kvůli zamezení chvění je tepelné čerpadlo k otopné soustavě připojeno pružnými tlakovými hadicemi DN20. Tepelné čerpadlo je připojeno na zásobníky tepla pro vytápění o objemu 200 l a na výměník zásobníku teplé vody o objemu 250 l. Regulace vytápění je ekvitermní podle venkovní teploty, která je měřena pomocí teplotního čidla umístěného na severní fasádě objektu. Zásobník tepla je nabíjen na požadovanou teplotu v otopné soustavě pro bytovou jednotku Standard. Pro otopnou soustavu v bytové jednotce Comfort bude teplota otopné vody adekvátně snížena směšovací uzlem. Pro vytápění bytové jednotky Low cost jsou určeny elektrické přímotopy či alternativně tepelné čerpadlo vzduch-vzduch.

### 6.2.2. Otopná soustava

V bytové jednotce Low cost je navrženo elektrické vytápění pomocí elektrických přímotopných těles. V místnosti 2.32 je umístěn přímotopný sálavý konvektor FENIX SOLIUS 10 o výkonu 1000 W s vestavěným termostatem. V koupelně je použito trubkové otopné těleso s elektrickou vložkou KORALUX LINEAR MAX ER o výkonu 300 W s regulátorem teploty RE10A.

Pro další bytové jednotky je vytápění navrženo za pomoci teplovodní soustavy. Pro jednotku Standard je zajištěno otopnými tělesy s návrhovým teplotním spádem 50/40 °C. V obytných místnostech jsou použita desková otopná tělesa typu RADIK PLAN Ventil Kompakt se zabudovanými radiátorovými ventily. V koupelně je použito trubkové otopné těleso KORALUX KL. Nucený oběh je zajištěn pomocí čerpadla.

Vytápění v bytové jednotce Comfort je zajištěno systémem podlahového vytápění s návrhovým teplotním spádem 40/35 °C. V koupelně je systém doplněn o trubkové otopné těleso. Na větvi je umístěn směšovací ventil 3RV pro regulaci teploty otopné vody. Pohon směšovače je napojen na centrální regulaci. Nucený oběh je stejně jako v případě jednotky Standard pomocí čerpadla.

### 6.2.3. Příprava teplé vody

Příprava teplé vody pro jednotky Standard a Comfort je zajištěna centrálně v nepřímo ohřivaném zásobníku teplé vody o objemu 250 l, který je napojený na tepelné čerpadlo umístěné v technické místnosti. V zásobníku je instalováno elektrické topné těleso o výkonu 3 kW, které je připojeno přes SSR relé k fotovoltaickému systému pro ohřev vody, v případě letních přebytků produkce elektrické energie. Pro byty Standard a Comfort je zavedena cirkulace teplé vody s oběhovým čerpadlem. Teplá voda pro byt Low cost je připravována v elektrickém ohříváči OKCE o objemu 125 l s výkonem 2.2 kW s přívodem studené vody potrubím DN20.

### 6.2.4. Větrání

Větrání je pro každou bytovou jednotku navrženo v jiném standardu. Pro bytovou jednotku Low cost je navrženo hybridní větrání. Jedná se o kombinaci přirozeného přívodu čerstvého vzduchu pomocí větracích štěrbin v oknech a odvod odpadního vzduchu z kuchyně a koupelny odtahovým ventilátorem s talířovými ventily. Odsávání odpadního vzduchu je spuštěno automaticky po rozsvícení koupelny nebo povelém z kuchyně při zapnutí cirkulační digestoře. Odvod odpadního vzduchu je vyveden potrubím do venkovního prostředí přes komínovou hlavici na střeše domu.

V bytové jednotce Standard je větrání zajištěno decentrálními vzduchotechnickými jednotkami IV-Smart s regenerací tepla umístěných v místnosti 2.22 a 2.25 a odsáváním odpadního vzduchu z kuchyně a hygienických zařízení odtahovým ventilátorem. Odvod odpadního vzduchu od ventilátoru je vyveden potrubím do venkovního prostředí přes komínovou hlavici na střeše domu. Odsávání je spuštěno automaticky po rozsvícení koupelny nebo povelém z kuchyně při zapnutí cirkulační digestoře.

Bytová jednotka Comfort má větrání zajištěno centrální vzduchotechnickou jednotkou Renovent Sky 150 Plus, která zajišťuje současně řízené větrání obytných místností domu čerstvým vzduchem a oddělené odsávání hygienických místností a kuchyně. Vzduchotechnická jednotka obsahuje rekuperační výměník, který využívá teplo z odpadního vzduchu. Větrací jednotka se skládá z ventilátorů, rekuperačního výměníku a filtru čerstvého vzduchu. Jednotka je umístěna v podhledu místnosti 1.14, odkud jsou rozvedeny přívody čerstvého vzduchu do obývacího pokoje a ložnice pomocí pružného potrubí. Nasávání čerstvého vzduchu je umístěno na západní fasádě objektu přes proti dešťovou žaluzii ve výšce cca 2,25 m nad úrovní terénu. Odpadní vzduch z koupelny a kuchyně je odsáván nuceně pomocí talířových ventilů. V kuchyni je umístěna cirkulační digestoř s uhlíkovým filtrem. Odsávací místa jsou napojena na odváděcí potrubí zaústěné do jednotky, kde odpadní vzduch předává teplo čerstvému vzduchu. Ochlazený vzduch je dále odváděn do venkovního prostředí přes komínovou hlavici na střeše domu. Odsávání je spouštěno automaticky po rozsvícení v koupelně nebo povelém z kuchyně při zapnutí digestoře. Zároveň se spuštěním odsávání odtahovým ventilátorem je zapnut přívod čerstvého vzduchu.

### **6.3. Regulace**

Systém teplovodního vytápění je řízen nadřazeným regulátorem Siemens. Bytová jednotka Low cost má místní regulaci elektrických otopných ploch i přípravy teplé vody.

#### **6.3.1. Zdroj tepla**

Nabíjení zásobníku teplé vody je řízeno na základě požadované ekvitermní teploty otopné vody pro vytápění. Řízení nabíjení zásobníku teplé vody je realizováno dle požadované teploty vody. Příprava teplé vody je provedena přednostně. Řízení zdroje tepla zajišťuje regulátor trojcestným přepínacím ventilem integrovaným v tepelném čerpadle.

#### **6.3.2. Vytápění**

Regulaci vytápění bytové jednotky Low cost zajišťují vestavěné termostaty přímotopných otopných těles. Pro regulaci vytápění jednotky Standard je v obývacím pokoji umístěn prostorový termostat, který spíná oběhové čerpadlo větve. V této místnosti není tepelné těleso opatřeno termostatickou hlavicí. Místní regulaci v ostatních místnostech zajišťují termostatické hlavice na otopných tělesech. Ekvitermní regulaci zajišťuje tepelné čerpadlo nabíjením zásobníku tepla pro vytápění na ekvitermní teplotu. Regulace pro bytovou jednotku Comfort je zajištěna pomocí prostorového termostatu umístěného v obývacím pokoji, který spíná oběhové čerpadlo větve. Druhý prostorový termostat je umístěn v pokoji. Tento termostat je napojen na termoelektrickou hlavici, kterou je osazen ventil příslušného okruhu na rozdělovači-sběrači. Ekvitermní regulaci větve zajišťuje směšovací ventil na patě otopné soustavy.

### 6.3.3. Větrání

Regulace bytové jednotky Low cost je dána spouštěním centrálního odtahového ventilátoru. Odsávání je spouštěno automaticky po rozsvícení světla v koupelně nebo povelém z kuchyně při zapnutí digestoře. Spínač v koupelně je vybaven oddáleným startem a doběhem, zatímco spínání v kuchyni má okamžitý start bez doběhu. Pro řízení regulace bytové jednotky Standard jsou decentrální větrací jednotky vybaveny regulátorem sMOVE4. Dle návrhu byl předpoklad trvalého větrání se sníženým průtokem nebo podle časového programu. Zároveň je automaticky spouštěno povelém z koupelny nebo kuchyně, stejně jako v případě jednotky Low cost. Regulace větrací jednotky zajišťuje regulátor větrací jednotky umístěný v chodbě. Předpokládá se zde trvalé větrání se sníženým průtokem ve vazbě na čidlo CO<sub>2</sub> umístěné v potrubí odtahu odpadního vzduchu. Zároveň je větrání spuštěno stejným způsobem jako u ostatních bytových jednotek.

## 6.4. Měření

Měření v objektu probíhá neustále od jeho uvedení do provozu a jsou měřeny různé aspekty od kvality vnitřního prostředí po výkon dopadající na jednotlivé fasády objektu. V této kapitole je uveden přehled jednotlivých senzorů, jejich umístění a měřené veličiny. Veškeré měřené veličiny lze zahrnout do digitálního dvojčete. Pro zjednodušení jsou pro následnou aplikaci vybrány parametry kvality vnitřního prostředí, které jsou závislé na ostatních technických systémech objektu a jedná se o důležitý parametr pro monitoring. Pro měření těchto parametrů jsou v objektu umístěny IAQ senzory, které v závislosti na umístění měří aspekty jako je teplota v místnosti, absolutní a relativní vlhkost, koncentrace CO<sub>2</sub> v místnosti či koncentraci organických těkavých látek (VOC).

V rámci měření spotřeb je měřena spotřeba elektrické energie. Toto měření probíhá pomocí elektroměrů umístěných v bytových rozvaděčích všech jednotek. Každá jednotka měří spotřebu elektrické energie světelných okruhů a pomocných energií v rámci zásuvkového okruhu. Spotřeba elektrické energie je dále měřena pro důležité prvky vybavení bytových jednotek, jako je vzduchotechnická jednotka či elektrická otopná tělesa.

Dalším měřeným parametrem je spotřeba teplé a studené vody pro jednotlivé bytové jednotky i objekt jako celek. Toto měření probíhá pomocí průtokoměrů osazených na přívodu vody do bytové jednotky. Výjimkou je jednotka Low cost, u které probíhá ohřev teplé vody lokálně a je zde tedy měřený pouze přívod studené vody a měrná potřeba tepla potřebná pro ohřev vody. Dále jsou v této kategorii zařazeny ponorné snímače hladiny umístěné v nádrži dešťové vody.

Pro měření parametrů otopné soustavy jsou osazeny jednotlivé větve kalorimetry. Tyto kalorimetry snímají množství dodaného tepla pro jednotlivé bytové jednotky. Dále je zde měřeno množství tepla, které dodává tepelné čerpadlo a také tepelná ztráta na cirkulačním okruhu objektu.

Ve dvou místnostech je měřena i koncentrace radonu v objektu, tato data ovšem nejsou k dispozici. Mezi parametry měřené v exteriéru lze zařadit dvě kategorie senzorů. První je měření dopadající solární energie na jednotlivé části objektu. Tento parametr je měřen za pomoci senzorů umístěných na jednotlivých fasádách objektu a střeše. Dalším prvkem je venkovní prostředí měřené komplexní GPS stanicí. Tato stanice je umístěna na střeše objektu spolu se senzorem snímajícím jas v exteriéru.

Poslední kategorií měření jsou senzory, které snímají vlhkost v rámci interiéru a uvnitř konstrukcí. Tento parametr je měřen pomocí senzorů Moistureguard, které jsou umístěny do míst, kde hrozí zvýšené riziko kondenzace vodní páry na povrchu či v rámci konstrukce. Data z těchto senzorů nejsou v tuto chvíli k dispozici.

#### 6.4.1. Kvalita vnitřního prostředí

Pro měření kvality vnitřního prostředí jsou využity IAQ senzory, které měří více parametrů najednou a byly vyvinuty na UCEEB ČVUT. Dále jsou v místnostech umístěny prostorové snímače kvality prostředí od společnosti Siemens. Umístění a značení senzorů je uvedeno v tabulce 13. Tyto senzory jsou následně využity v modelové aplikaci a pro vytvoření samotného digitálního dvojčete.

**Tabulka 13a:** Senzory pro měření kvality vnitřního prostředí umístěné v objektu - část 1

Číslo senzoru	Umístění	Typ senzoru	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
<b>Bytová jednotka Comfort</b>				
1	Obývací pokoj 1.12	Prostorový přístroj - IAQ	IE_K_IAQ02_01_1.12	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
2	Obývací pokoj 1.12	Prostorový přístroj - Siemens	IE_K_QMX3.P74_01_1.12	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub>
3	Koupelna 1.14	Odtah z bytu - IAQ	IE_K_IAQ03_01_1.14	VOC
4	Koupelna 1.14	Prostorový přístroj - Siemens	IE_K_QMX3.P40_01_1.14	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub>
5	Ložnice 1.15	Prostorový přístroj - IAQ	IE_K_IAQ02_02_1.15	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
6	Ložnice 1.15	Prostorový přístroj - Siemens	IE_K_QMX3.P74_02_1.15	Teplota, vlhkost

**Tabulka 13b:** Sensory pro měření kvality vnitřního prostředí umístěné v objektu - část 2

Číslo senzoru	Umístění	Typ senzoru	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
<b>Bytová jednotka Standard</b>				
7	Ložnice 2.22	Prostorový přístroj - IAQ	IE_S_IAQ02_01_2.22	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
8	Ložnice 2.22	Prostorový přístroj - Siemens	IE_S_QMX3.P74_01_2.22	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub>
9	Koupelna 2.23	Prostorový přístroj - Siemens	IE_S_QMX3.P40_01_2.23	Teplota, vlhkost
10	WC 2.24	Odtah z bytu - IAQ	IE_S_IAQ02_02_2.25	VOC
11	Obývací pokoj 2.25	Prostorový přístroj - IAQ	IE_S_IAQ02_02_2.25	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
12	Obývací pokoj 2.25	Prostorový přístroj - Siemens	IE_S_QMX3.P74_02_2.25	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub>
<b>Bytová jednotka Low cost</b>				
13	Obývací pokoj 2.32	Prostorový přístroj - IAQ	IE_L_IAQ02_01_2.32	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
14	Obývací pokoj 2.32	Prostorový přístroj - Siemens	IE_L_QMX3.P74_01_2.32	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub>
15	Koupelna 2.33	Odtah z bytu - IAQ	IE_S_IAQ03_01_2.33	Teplota, vlhkost, CO <sub>2</sub> , VOC
16	Koupelna 2.33	Prostorový přístroj - Siemens	IE_L_QMX3.P40_01_2.33	Teplota, vlhkost

#### 6.4.1.1. Indoor air quality sensor (IAQ)

Senzor kvality vnitřního prostředí umožňuje měření komplexní škály parametrů pro vnitřní prostředí jako je vzdušná vlhkost, tlak, teplota, koncentrace CO<sub>2</sub>, koncentrace organických těkavých látek VOC a případně i koncentraci prachových částic PM10 a PM2.5. Senzor umožňuje použití široké škály komunikačních rozhraní, díky čemuž umožňuje vysoce komplexní využití. Zařízení využívá komunikaci pomocí standardizovaných komunikačních protokolů jako je Modbus, MQTT či HTTP.





Obrázek 38: IAQ sensor UCEEB [31]

#### 6.4.2. Měření spotřeby elektrické energie

Spotřeba elektrické energie je měřena pomocí samostatných elektroměrů, na které jsou napojeny hlavní spotřebiče či okruhy v jednotlivých bytových jednotkách. Pro jednotku Low cost je měření spotřeby elektrické energie provedeno pomocí 7 samostatných elektroměrů umístěných v bytovém rozvaděči. Spotřeba je měřena samostatně pro elektrická topná tělesa (zásuvka pro elektrický přímotop a elektrický topný žebřík), tepelné čerpadlo vzduch-vzduch, elektrický ohřívač vody, ventilátor a pro měření spotřeby zásuvkového a světelného okruhu. V jednotce Standart jsou v bytovém rozvaděči umístěny 3 elektroměry pro samostatné měření spotřeby pro decentrální větrací jednotky, které jsou společně napojeny na jeden elektroměr a dále pro zásuvkový a světelný okruh. V bytovém rozvaděči pro jednotku Comfort jsou umístěny samostatné elektroměry pro měření spotřeby elektrické energie vzduchotechnické jednotky a zásuvkového a světelného okruhu. Seznam elektroměrů spolu s jejich značení a umístěním viz tabulka 14.

Tabulka 14a: Značení a umístění elektroměrů v objektu - část 1

Číslo elektroměru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
Bytová jednotka Comfort			
1	Chodba 1.11	EC_K_elektromer_02_S-osvetleni	Spotřeba el. energie na osvětlení
2	Chodba 1.11	EC_K_elektromer_03_S-zasuvky	Spotřeba pomocné el. energie
3	Chodba 1.11	EC_K_elektromer_01_1.14	Spotřeba el. energie VZT jednotka

**Tabulka 14b:** Značení a umístění elektroměrů v objektu - část 2

Číslo elektroměru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
<b>Bytová jednotka Standard</b>			
4	Chodba 2.21	EC_S_elektromer_02_S-osvetleni	Spotřeba el. energie na osvětlení
5	Chodba 2.21	EC_S_elektromer_03_S-zasuvky	Spotřeba pomocné el. energie
5	Chodba 2.21	EC_S_elektromer_01_2.25	Spotřeba el. energie větrání
<b>Bytová jednotka Lowcost</b>			
6	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_02_2.31	Spotřeba el. energie bojler
7	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_05_L-osvetleni	Spotřeba el. energie na osvětlení
8	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_06_L-zasuvky	Spotřeba pomocné el. energie
9	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_07_2.32	Spotřeba el. energie zásuvka pro přímotop
10	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_04_2.32	Spotřeba el. energie tepelné čerpadlo
11	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_03_2.33	Spotřeba el. energie trubkové otopné těleso
12	Chodba 2.31	EC_L_elektromer_01_2.33	Spotřeba el. energie odtahový ventilátor

### 6.4.3. Spotřeba a množství vody

Spotřeba studené a teplé vody je měřena zvlášť pro každou bytovou jednotku. Pro jednotku Low cost, která má přípravu teplé vody řešenou lokálně pomocí elektrického ohřívače, je měřena pouze spotřeba studené vody. Průtok vody je měřen pomocí průtokoměrů umístěných na přívodních potrubích v bytových jednotkách. Dále je měřena celková spotřeba vody pro celý objekt průtokoměrem umístěným na přívodu do objektu. Přehled průtokoměrů a jejich umístění je uveden v tabulce 15.

**Tabulka 15:** Značení a umístění senzorů pro měření spotřeby a množství vody

Číslo průtokoměru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
<b>Bytová jednotka Comfort</b>			
1	Koupelna 1.14 - Šachta	WC- C_K_WFK30.D080_01_1.14	Průtok studená voda
2	Koupelna 1.14 - Šachta	WC- H_K_WFK30.D080_01_1.14	Průtok teplá voda
<b>Bytová jednotka Standard</b>			
3	WC 2.24 Šachta	WC- C_S_WFK30.D080_01_2.24	Průtok studená voda
4	WC 2.24 Šachta	WC- H_S_WFK30.D080_01_2.24	Průtok teplá voda
<b>Bytová jednotka Low cost</b>			
5	Koupelna 2.33 - Šachta	WC- C_L_WFK30.D080_01_2.33	Průtok studená voda
6	Bojler	WC-H_L_QAP213_2.31	Teplota vody v ohřivači
<b>Objekt</b>			
7	Technická místnost 1.02	WC- C_O_WMDH0000C_01_1.02	Průtok studená voda
8	Retenční nádrž jih	-	Průtokový senzor
9	Retenční nádrž jih	-	Průtokový senzor
10	Šachta	-	Průtokový senzor
11	Ponorný snímač LMK 809	RWSPR_O_GLUC-JVS-D- 6_01_T	Hladina vody
12	Ponorný snímač LMK 809	GWSPR_O_GLUC-JVS-D- 3_01_T	Hladina vody

#### 6.4.4. Měření spotřeby tepla otopné soustavy

Pro měření dodaného tepla teplovodní soustavou jsou instalovány kalorimetry na obou větvích teplovodní soustavy. Kalorimetry jsou využity na měření dodaného tepla do jednotky Comfort a Standard. Dále jsou kalorimetry umístěny na okruh mezi tepelným čerpadlem a zásobníkem teplé vody pro měření dodaného tepla z tepelného čerpadla. Na výstupu ze zásobníku je pomocí kalorimetru měřeno množství dodaného tepla do budovy. Na cirkulačním okruhu je umístěn kalorimetr pro měření ztraceného tepla v rámci tohoto okruhu. Přehled a umístění kalorimetrů je popsáno v tab. 16.

**Tabulka 16:** Přehled senzorů pro měření parametrů otopné soustavy

Číslo senzoru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
1	Technická místnost 1.02	HC_K_UH30-C05-M_01_1.02	Dodané teplo Comfort
2	Technická místnost 1.02	HC_S_UH30-C05-M_01_1.02	Dodané teplo Standard
3	Technická místnost 1.02	HC_O_UH30-C05-M_01_1.02	Teplo dodané do zásobníku TV
4	Technická místnost 1.02	HC_O_UH30-C05-M_02_1.02	Teplo dodané na TV
5	Technická místnost 1.02	HC_O_UH30-C05-M_03_1.02	Teplo ztracené na cirkulaci

#### 6.4.5. Radon

V objektu jsou umístěny dva senzory měřící koncentraci radonu. Tyto senzory jsou umístěny v prvním nadzemním podlaží v obývacím pokoji 1.12 a ve druhém nadzemním podlaží v obývacím pokoji 2.32. Data z těchto senzorů nejsou v době zpracování práce k dispozici.

**Tabulka 17:** Přehled senzorů pro měření radonu

Číslo senzoru	Bytová jednotka	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
1	Obývací pokoj	Radon	IE_K_TSRE1_02_1.12	Koncentrace radonu
2	Obývací pokoj	Radon	IE_L_TSRE1_01_2.32	Koncentrace radonu

#### 6.4.6. Sluneční energie dopadající na jednotlivé části objektu

Pro měření předpokládaných výkonů fotovoltaických soustav jsou na objektu umístěny senzory, které měří množství sluneční energie dopadající na jednotlivé části objektu.

**Tabulka 18:** Přehled senzorů pro měření dopadající solární energie

Číslo senzoru	Umístění	Senzor	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
1	Střecha	Solar sensor QLS60	EESG_O_QLS60_05_R	Intenzita sl. záření
2	Stěna sever	Solar sensor QLS60	EESG_O_QLS60_02_N	Intenzita sl. záření
3	Stěna jih	Solar sensor QLS60	EESG_O_QLS60_02_S	Intenzita sl. záření
4	Stěna východ	Solar sensor QLS60	EESG_O_QLS60_02_E	Intenzita sl. záření
5	Stěna západ	Solar sensor QLS60	EESG_O_QLS60_02_W	Intenzita sl. záření

### 6.4.7. Senzory pro měření venkovních parametrů

Tabulka 19: Přehled exteriérových senzorů

Číslo senzoru	Umístění	Senzor	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
1	Střecha	IAQ	EE_O_Thermokon_R	CO <sub>2</sub> , VOC
2	Střecha	Weather station GPS AP 257 61	EE_O_SWG1257_01_R	Teplota, intenzita osvětlení, rychlost větru, déšť
3	Střecha	Dual sensor AP 254 02	EE_O_5WG1254_01_E	Jas, teplota

### 6.4.8. Vlhkost konstrukce

Tabulka 20a: Přehled Moistureguard senzorů - část 1

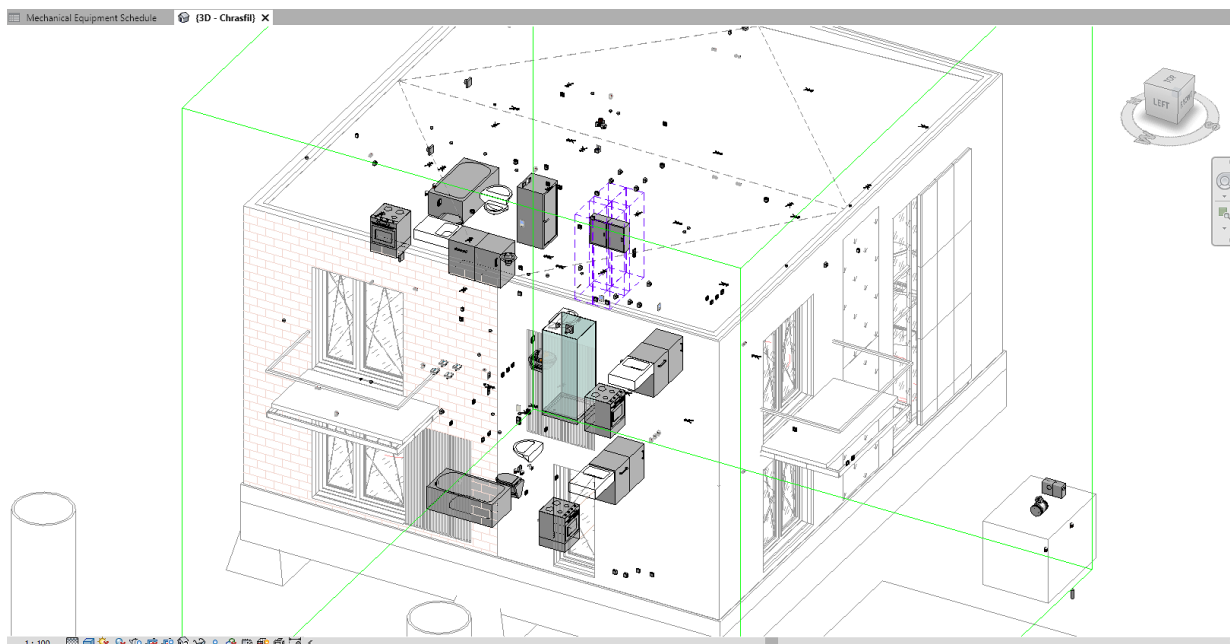
Číslo senzoru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
Bytová jednotka Low cost			
1	Koupelna 1.14	1	Vlhkost
2	Koupelna 1.14	2	Vlhkost
3	Koupelna 1.14	3	Vlhkost
Bytová jednotka Standard			
4	Koupelna 2.23	4	Vlhkost
5	Koupelna 2.23	6	Vlhkost
6	WC 2.24	5	Vlhkost
Bytová jednotka Comfort			
7	Koupelna 2.33	9	Vlhkost
8	Koupelna 2.33	8	Vlhkost
9	Koupelna 2.33	7	Vlhkost

**Tabulka 20b:** Přehled Moistureguard senzorů - část 2

Číslo senzoru	Umístění	Parametrické označení senzoru	Měřená veličina
Objekt			
10	Stěna východ	10	Vlhkost
11	Stěna východ	11	Vlhkost
12	Stěna západ	12	Vlhkost
13	Stěna západ	13	Vlhkost
14	Stěna západ	14	Vlhkost
15	Stěna sever	15	Vlhkost
16	Stěna sever	16	Vlhkost
17	Stěna sever atika	17	Vlhkost
18	Stěna sever atika	18	Vlhkost
19	Stěna jih atika	19	Vlhkost
20	Stěna jih atika	20	Vlhkost

## 6.5. Úprava existujícího BIM modelu dle dokumentace skutečného provedení

Aby byly vstupy pro digitální dvojče co nejpřesnější, bylo využito dostupné dokumentace skutečného provedení stavby k úpravě informačního modelu. Původní informační model byl využit v rámci fáze návrhu a výstavby a během samotné realizace objektu došlo k několika úpravám, které nebyly do původního modelu zaznamenány. Tyto úpravy se týkají především konstrukčních částí objektu a technického zařízení objektu. Na základě výrobní dokumentace byly upraveny jednotlivé konstrukční prvky tak, aby odpovídaly skutečnosti. Dále byly upraveny polohy prvků pro měření jednotlivých parametrů objektu, aby bylo možné tyto body přesně zaznamenat do samotného digitálního dvojčete. Dispozice a objem objektu se nezměnil, proto nebylo nutné upravovat rozměry modelu. Dále byly upraveny parametry modelu tak, aby bylo možné co nejpřesněji zobrazovat konstrukce a správně kategorizovat jednotlivé prvky a vstupní uzly měřených parametrů. [3]



**Obrázek 39:** Zobrazení prvků pro měření a regulaci v informačním modelu [Autodesk Revit]

### 6.5.1. Úprava konstrukčních prvků dle výrobní dokumentace

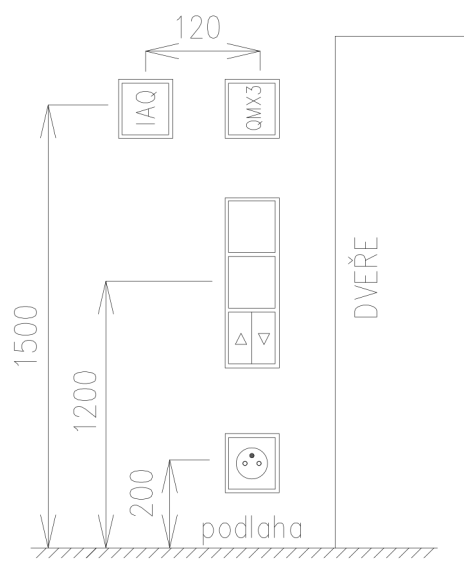
První úpravou informačního modelu byla úprava konstrukce dle výrobních výkresů dodaných zhotovitelem pro provedení stavby. Konstrukce se objemově a dispozičně neliší, ale rozdíl je především v provedení samotných prefabrikovaných prvků, a to převážně v rámci dřevěné konstrukce. Proti předpokládaným konstrukcím se tyto panely liší v množství a roztečích jednotlivých dřevěných prvků prefabrikovaných panelů. Abychom v případě analýzy objektu a jeho částí mohli lépe stanovit konkrétní problém, v případě poruchy či nefunkčnosti některého ze systémů, byly tyto změny do modelu zaznamenány. Tato změna může mít vliv především na tepelně technické vlastnosti objektu. Vzhledem k tomu, že je v rámci konstrukce poměrně výrazně navýšeno množství lineárních tepelných mostů, může to mít v provozní fázi důsledek v navýšení spotřeb energií či vliv na vlhkostní poměry v rámci konstrukcí.

### 6.5.2. Úprava skladeb konstrukcí dle dokumentace skutečného provedení stavby

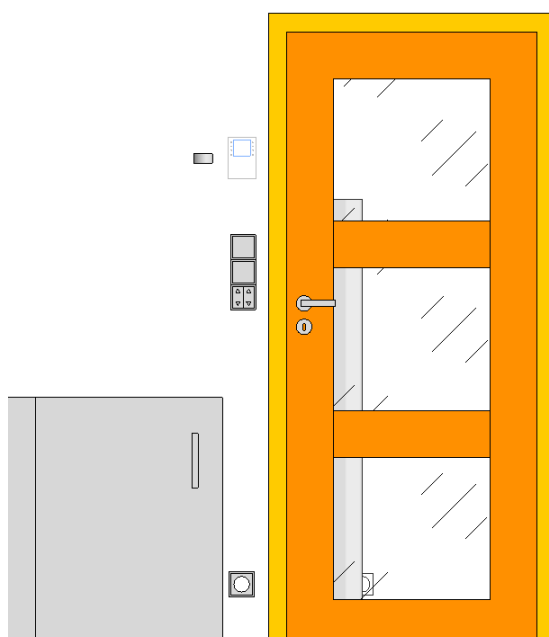
Skladby jednotlivých konstrukcí byly upraveny na základě skladeb provedených při realizaci stavby. Tyto skladby byly převzaty z dokumentace skutečného provedení a jsou uvedeny v kapitole 6.1.4.1. Úprava skladeb má za důsledek upřesnění objektu především na úrovni stavební fyziky a může mít výrazný vliv na většinu technických systémů i vnitřních parametrů objektu.

### 6.5.3. Úprava umístění prvků pro měření parametrů objektu dle skutečného provedení

Dle výkresů elektrických zařízení objektu bylo zjištěno finální umístění jednotlivých sensorických uzlů. V původním modelu byly některé senzory chybně umístěny či zde chyběly, a tak bylo nutné umístění upravit. Pro správnou funkci digitálního dvojčete a následnou analýzu objektu je nutné dbát na přesné umístění těchto senzorů, jinak by mohlo dojít k chybnému úsudku při hledání příčin jednotlivých odchylek systému.



**Obrázek 40:** Rozmístění senzorů v místnosti 2.32 dle DSPS [Autodesk Autocad]



**Obrázek 41:** Upravená poloha senzorů v informačním modelu [Autodesk Revit]



#### 6.5.4. Úprava parametrů modelu pro lepší zobrazování ve vizualizačním prostředí

Uživatelské prostředí projektu Hyperion převádí RVT model na SVT model, který trochu odlišně parametrizuje jednotlivé objemové aspekty objektu. Funkce digitálního dvojčete to neovlivní, ale pokud jsou upraveny, je možné dosáhnout lepšího zobrazení jednotlivých podlaží. Proto je nutné správně definovat jejich výškové ohraničení. To má vliv na samotné zobrazení jednotlivých zón, na které je model přetransformován. Dalším důležitým parametrem, který určuje ohraničení jednotlivých zón objektu je definice jednotlivých místností. V případě využití Autodesk softwaru pro vývoj informačního modelu je převod na místnosti obvykle automatický. Pokud by byl ovšem využit jiný formát souboru je nutné nejprve definovat jednotlivé zóny pomocí nástrojů společnosti Autodesk.

#### 6.6. Definice okrajových podmínek pro vyhodnocení parametrů objektu

V rámci porovnání návrhových parametrů objektu s reálným provozem byly stanoveny předpokládané spotřeby energií a okrajové podmínky pro vyhodnocení kvality vnitřního prostředí založené na požadavcích určených vyhláškami. [5], [6] Tyto hodnoty byly převzaty z původní dokumentace objektu a případně upraveny podle aktuálních provozních podmínek. Dále byly určité parametry stanoveny pomocí údajů z technických norem. Vzhledem k tomu, že objekt byl monitorován v testovacím režimu a následně byl využit při uprchlické krizi pro nouzové ubytování, nebyly veškeré systémy správně nastaveny či uvedeny do provozu. Na základě těchto hodnot tedy nelze s přesností stanovit správnost návrhu objektu a posoudit jeho funkci. V rámci diplomové práce byly stanoveny pouze určité hodnoty, které byly vyhodnoceny a následně se bude provádět další monitoring a vyhodnocení objektu na základě správných dat. To ovšem není v tuto chvíli možné, protože objekt je obýván více lidmi, než byl původní předpoklad, a jak již bylo zmíněno, některé systémy objektu jsou stále nefunkční.

**Tabulka 21:** Okrajové podmínky pro posouzení kvality vnitřního prostředí

Parametr	Limit minimum	Limit maximum
Teplota [°C]	18	27
Relativní vlhkost [%]	40	70
Koncentrace CO <sub>2</sub> [ppm]	0	700
Koncentrace VOCekvCO <sub>2</sub> [ppm]	0	1000

## 7. Praktický vývoj digitálního dvojčete

Původní myšlenkou práce bylo vytvořit digitální dvojče objektu, které bude spojovat datový model spolu s dynamicky načítanými daty objektu a vytvoří tak virtuální kopii reálné budovy, které bude fungovat pro správu dat a objektu jako takového. Spojením BIM prostředí spolu se senzorickými daty vznikl nápad vytvořit právě digitální dvojče budovy. Koncept, který není ve stavebnictví využíván, a tak mimo experimentálních výzkumů vývojových společností jako je například Autodesk, bylo velmi náročné hledat potřebné zdroje.

### 7.1. Volba vhodného vývojového prostředí

Nejprve bylo nutné pro vývoj najít vhodné prostředí, které umožní propojení těchto dvou typů dat a zároveň je dokáže efektivně vizualizovat. Prvním zkoumaným nástrojem, byl Project Dasher od společnosti Autodesk viz kap. 7.1.1. Tento nástroj slouží pro vývoj digitálního dvojčete budovy. Avšak v tuto chvíli je stále omezený právě pro výzkumnou činnost společnosti, a tak není možné se k tomuto vývojářskému nástroji dostat. Během rešeršní části práce a snahy najít vhodné prostředí, které by nevyžadovalo další znalosti v oblasti programování, byla společností Autodesk vydána nová verze Projectu Dasher s názvem Autodesk Tandem. Tento nástroj byl volně dostupný a je možné ho využít pro vizualizaci IFC souborů. Nabízí různé možnosti jako je kategorizace dat, vkládání statických záznamů o objektu a vytváří prostředí, které by bylo vhodné pro vývoj digitálního dvojčete. Problém ovšem byl v tom, že aktuálně tento nástroj nepodporuje vkládání dynamických dat a vzhledem k tomu, že se nejedná o open-source řešení, není možné jej modulovat. Tento nástroj je blíže specifikovaný v kap. 7.1.2., kde je ukázka jeho možného využití, které bylo k dispozici v době zpracování práce. Společnost Autodesk pracuje na tom, aby bylo dynamické načítání dat do projektu Tandem implementováno, ovšem není možné říct, kdy bude funkce spuštěna. Dalším nástrojem, který přicházel v úvahu, byl EcoDomus. Ovšem zde nebylo možné získat licenci pro studijní účely a tak nebylo možné nástroj využít. Jedinou reálnou možností, jak vytvořit digitální dvojče tedy bylo využít základy programovací platformy Forge od společnosti Autodesk, konkrétně pak Project Hyperion, který je nástavbou API pro správu a vizualizaci dat. Pro aplikaci tohoto řešení bylo ovšem nutné se naučit základy programování, což byla největší výzva v rámci této práce.

#### 7.1.1. Autodesk Project Dasher

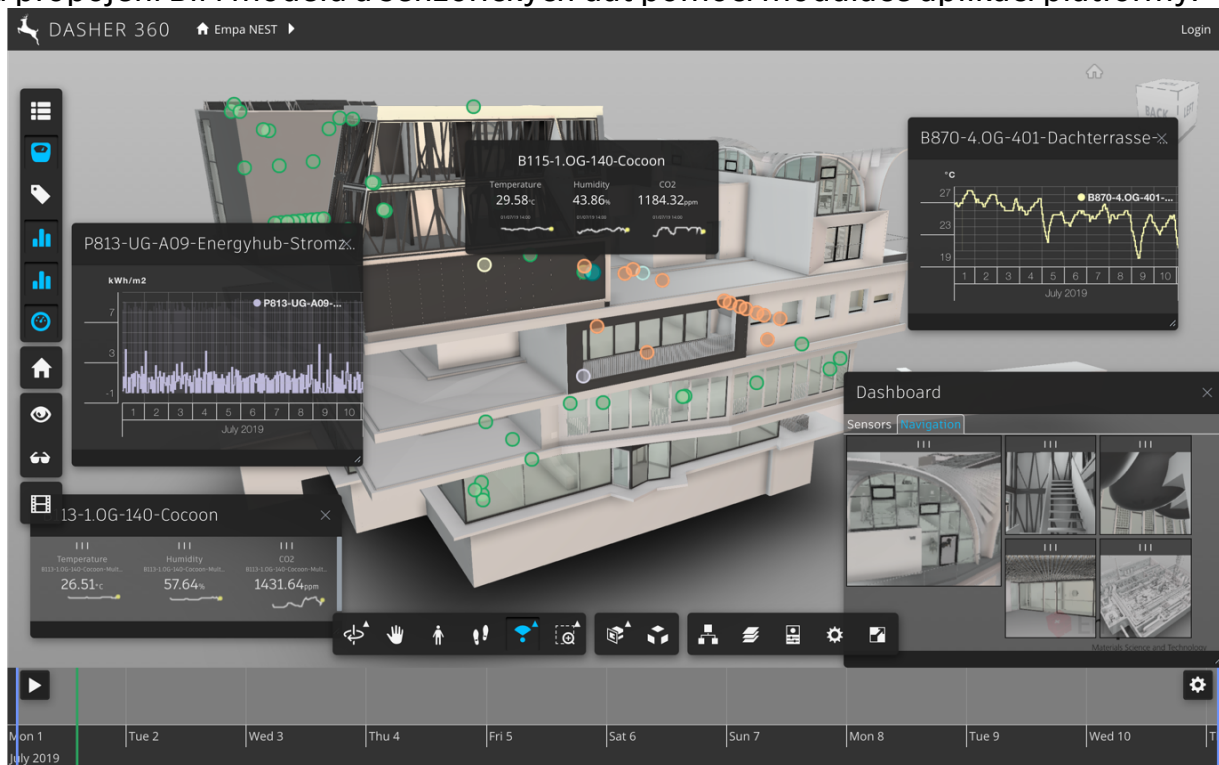
Jedná se o nástroj, který vznikl již v roce 2010, na základě spolupráce Autodesku s NASA, a jeho cílem je vytvoření nástroje, který mění pohled na hodnocení výkonnosti budovy. Aktuálně je návrh a hodnocení udržitelných budov nastaven jako pevný ideál. Využitím dat v reálném čase však umožňujeme nahlížet na tuto problematiku dynamicky a řešit tak proměnné, které v různých životních fázích objektu mohou nastat.

Projekt Dasher, na rozdíl od Autodesk Tandem, detailněji řeší nastavení komunikace s IoT čidly. Tyto možnosti by měli být do Tandemu doplňovány.

"Projekt Dasher využívá BIM jako ideální platformu pro správu komplexních informací o budovách a jeho cílem je jít nad rámec stávajících informačních panelů budov a představovat komplexní rámec sledování výkonnosti budov. Projekt Dasher funguje jako vizualizační centrum, kde jsou shromážděna data z různých zdrojů intuitivně agregována a prezentována ve 3D, aby se zvýšila naše schopnost vyvozovat složitější příčinné vztahy týkající se výkonnosti budov a celkových provozních požadavků." [32]

"Tento nástroj umožnil lidem snadno pochopit výkonnost na různých úrovních detailu, od celého podlaží budovy až po konkrétní zónu. Klíčovým odlišujícím prvkem nástroje Dasher bylo zobrazení informací o senzorech ve 3D modelu, což usnadnilo vstřebání detailů o více senzorech najednou a komplexní pohled na situaci, což značně usnadnilo její konzumaci" [32]

Projekt Dasher je v tuto chvíli omezený pouze pro vývojářskou a výzkumnou činnost společnosti Autodesk, proto je k němu pouze omezený přístup, a je tak nutné se při tvorbě digitálního dvojčete zaměřit na kódovací platformu Forge a propojení BIM modelu a sensorických dat pomocí modulace aplikací platformy.

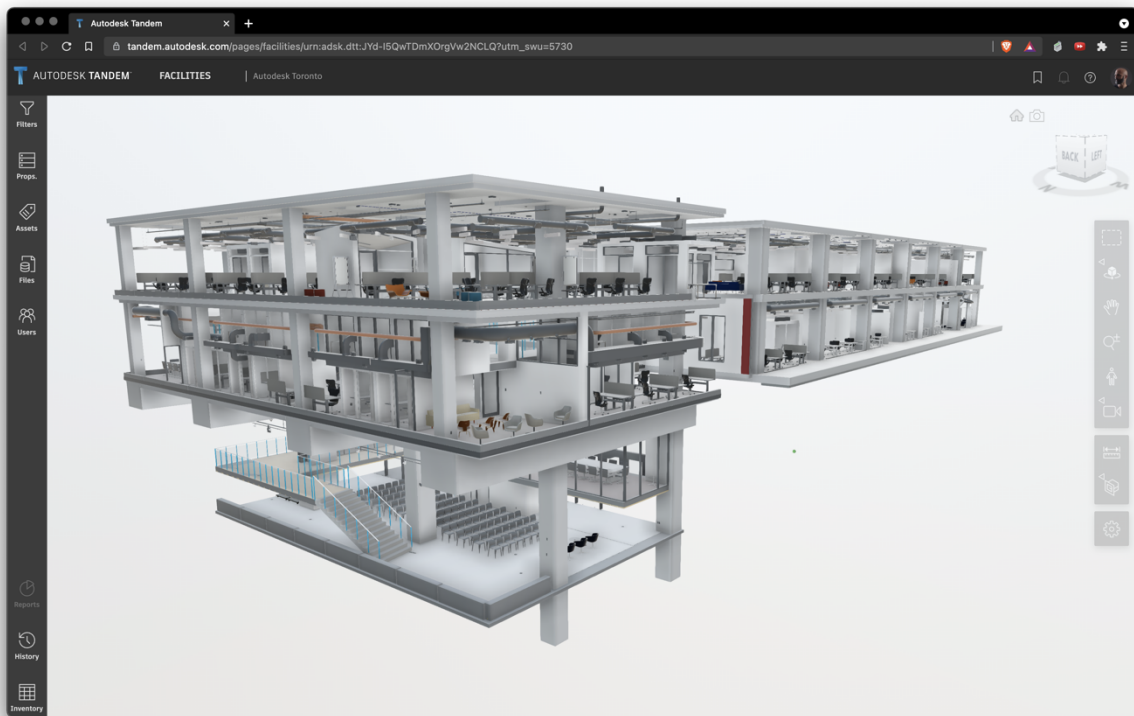


Obrázek 42: Autodesk Project Dasher [33]

## 7.1.2. Autodesk Tandem

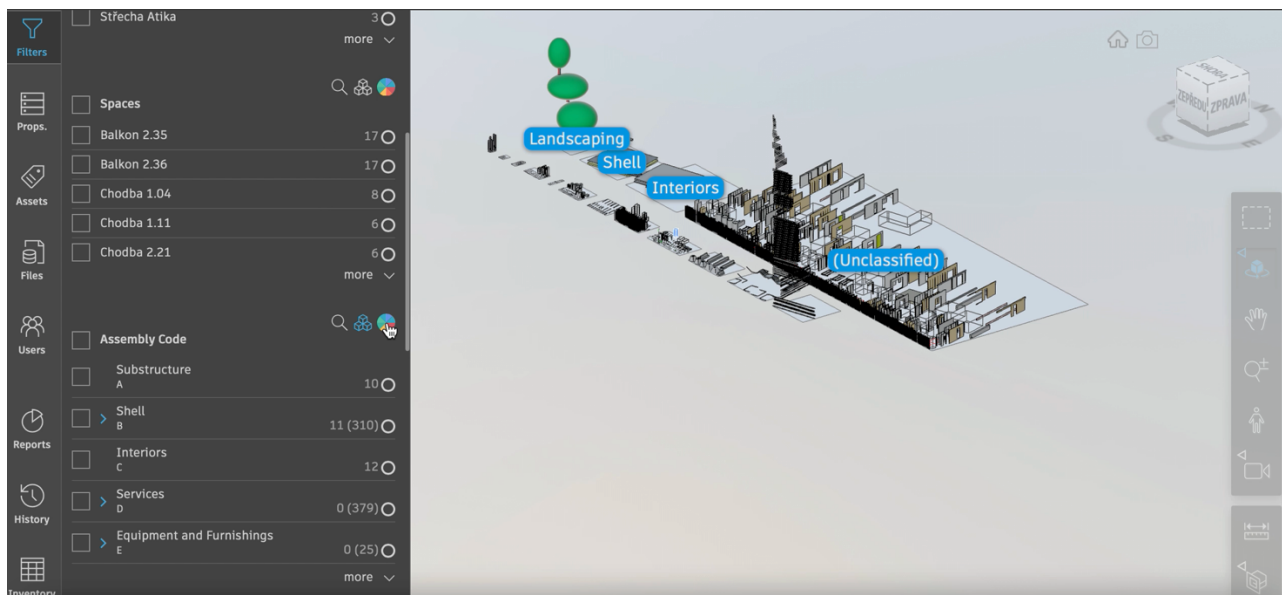
Služba Autodesk Tandem je navázána na platformu Forge, na které běží většina nástrojů Autodesku. Jedná se o beta verzi, která je v tuto chvíli volně přístupná. Navazuje na Autodesk Project Dasher a vytváří prostředí, které je určeno především koncovému uživateli (správci objektu či uživateli). Tento nástroj spočívá v komunikaci mezi projekční aplikací Autodesk REVIT a využívá cloudové platformy Autodesk Construction Cloud. Tyto dva nástroje tvoří vazbu mezi projekčními BIM daty a daty digitálního dvojčete (vnější data, data senzorů IoT). Nástroj Autodesk Tandem má za cíl shromažďovat veškeré informace o budově, jejích systémech a kritických zařízeních. Datovými zdroji mohou být například

počítačové systémy údržby a řízení CMMS a systémy dohledového řízení a sběru dat SCADA, dále IoT datové systémy a data vytěžená z informačního modelu. Tandem se na rozdíl od Projektu Dasher zaměřuje spíše na komunikaci s projekčními BIM daty. Prozatím REVIT, později jakékoliv IFC soubory. V aktuální chvíli je Tandem stále ve fázi vývoje proto jsou jeho funkce značně omezeny. Není prozatím vhodný pro efektivní tvorbu digitálního dvojčete a nelze tak využít pro účely této práce.



**Obrázek 43:** Autodesk Tandem [34]

Autodesk Tandem nabízí volný přístup s možností integrovat do aplikace vlastní model. Tento model lze pak prohlížet, rozkládat či kategorizovat na základě modelových parametrů. Díky tomu lze využít pro účely správy inventáře nebo zaznamenání statických informací o jednotlivých součástech modelu.



**Obrázek 44:** Rozklad modelu TiCo House a klasifikace prvků [Autodesk Tandem]

### 7.1.3. Autodesk Viewer

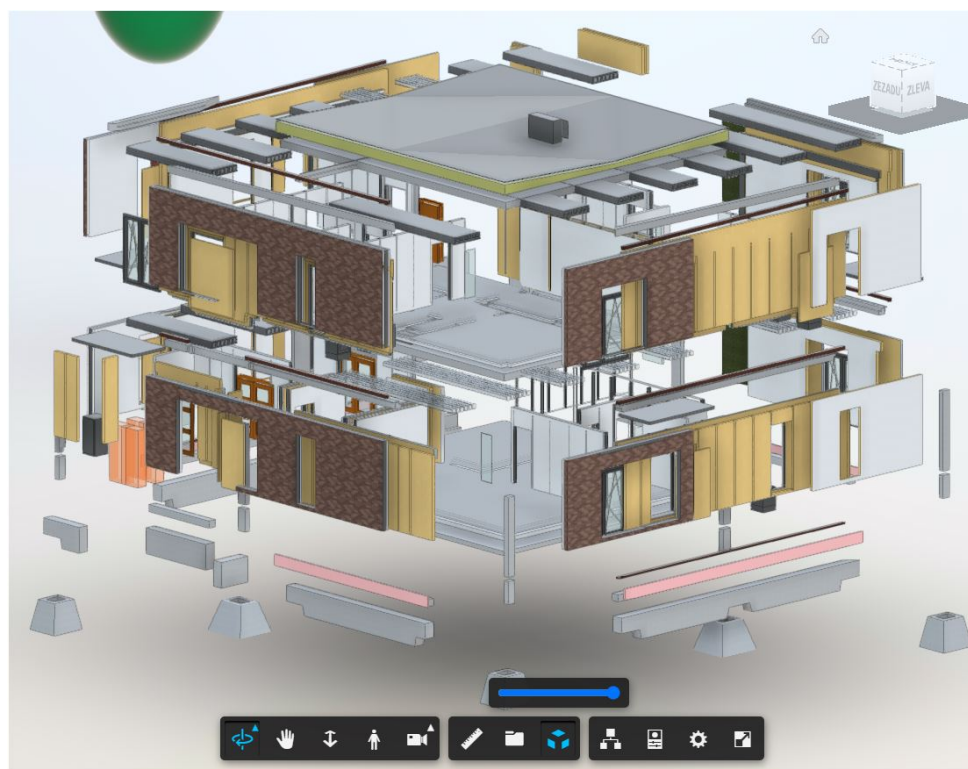
Prvním seznámením s rozhraním a funkcemi platformy Forge bylo díky spuštění náhledové aplikace Autodesk Viewer. Tato aplikace je v podstatě základním stavebním kamenem a bez modifikací nabízí prohlížení modelu, jeho rozklad na jednotlivé prvky a případné doplnění o analytické služby v podobě statistických dat o modelu. Tuto aplikaci je možné klonovat z uložště GitHub, ale vzhledem k tomu, že jsem na začátku neměl potřebné základy programování, využil jsem pro tvorbu výuková videa a vývojářský návod k sestavení této aplikace od začátku, což mi pro pozdější tvorbu poskytlo základní orientaci ve zdrojovém kódu.

Aplikace ve svém základním nastavením poskytuje prohlížení modelu a jeho případné sdílení mezi uživateli díky využití cloudové služby BIM 360. Takto lze model prohlížet, rozkládat a zkoumat jednotlivé vlastnosti určitých prvků či skupin prvků. Nejedná se o nástroj na tvorbu digitálního dvojčete, ale samotná aplikace, později využitá pro samotnou tvorbu využívá určité aspekty této služby a obohacuje je o další funkce, které z prohlížeče umožní vytvořit virtuální kopii objektu.



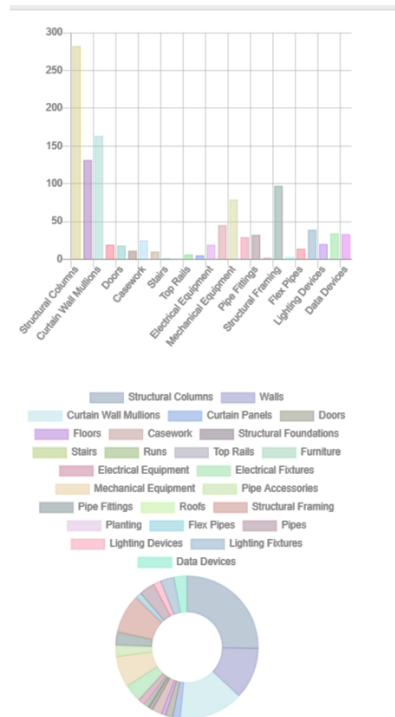
**Obrázek 45:** Vizualizace TiCo House [Autodesk Viewer]

Díky rozkladu modelu na jednotlivé prvky lze na objekt nahlížet trochu v jiném kontextu, než pokud máme model v celku. Zde ovšem významně záleží na úrovni vývoje (LoD) samotného modelu. Složení a vlastnosti jednotlivých prvků mohou být výhodné z hlediska pochopení návazností v objektu, ale pokud není v modelu samotném dostatek informací, tato funkce nám příliš nepomůže.



**Obrázek 46:** Rozklad objektu TiCo House [Autodesk Viewer]

Mezi nastavbové funkce, které lze do prohlížeče Autodesk Viewer implementovat je možné zařadit funkce statistické analýzy modelu. Díky vložení tohoto modulu do samotného zdrojového kódu aplikace lze následně kategorizovat a na základě definovaných parametrů vytvářet grafy a statistiky určitých aspektů modelu.



Obrázek 47: Statistická data o objektu [Autodesk Viewer]

The screenshot shows the source code structure of Autodesk Viewer in Microsoft VSCode. The Explorer view on the left shows a project structure with folders like 'node\_modules', 'public', 'css', 'js', 'routes', and 'uploads'. The main editor displays the 'launch.json' file, which is a JSON configuration for a launch program. The code includes comments and configuration details for a Node.js application.

```

1
2 // Use IntelliSense to learn about possible attributes.
3 // Hover to view descriptions of existing attributes.
4 // For more information, visit: https://go.microsoft.com/fwlink/?linkid=830387
5 "version": "0.2.0",
6 "configurations": [
7
8   {
9     "type": "node",
10    "request": "launch",
11    "name": "Launch Program",
12    "program": "${workspaceFolder}/start.js",
13    "env": {
14      "FORGE_CLIENT_ID": "eC1PgCdvI9cDMwYp9ksmGcvsu8GbUbkz",
15      "FORGE_CLIENT_SECRET": "85CpD0pgkXb31zT1",
16      "FORGE_CALLBACK_URL": "http://localhost:3000/api/forge/callback/oauth"
17    }
18  }
19 ]
20

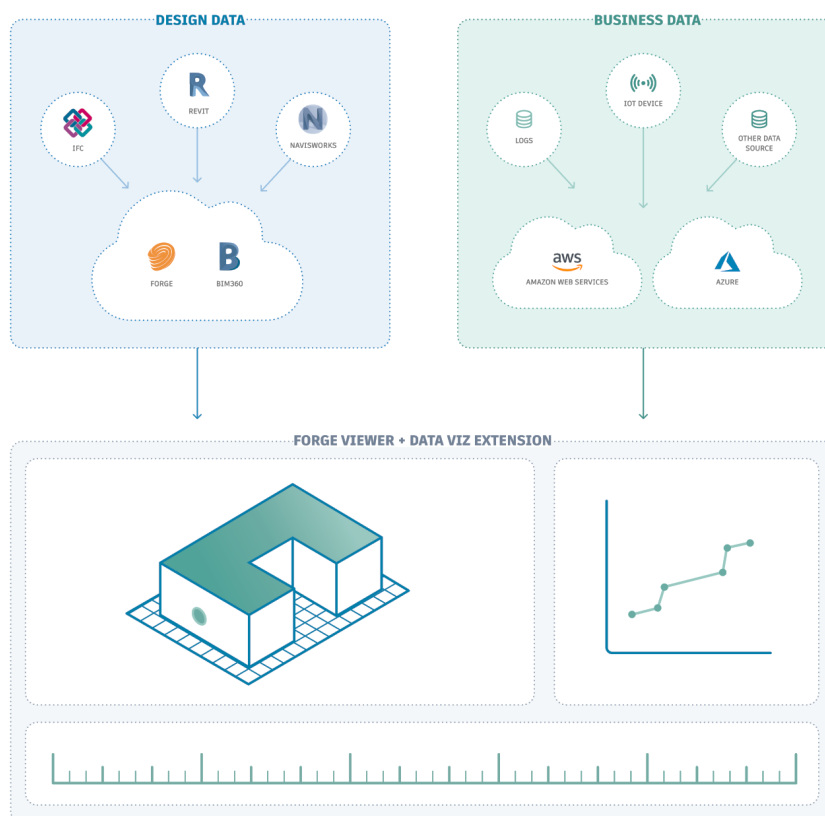
```

Obrázek 48: Struktura zdrojového kódu Autodesk Viewer [Microsoft VSCode]

### 7.1.3.1. Autodesk Project Hyperion

Pro rozšířenou vizualizaci nabízí samotná platforma Forge ještě detailnější obohacení zobrazení 3D BIM modelu o cloudový prohlížeč Data Visualization (Projekt Hyperion). Projekt Hyperion je nástroj, který spojuje několik webových API Autodesku a umožňuje propojit informační model s reálnými daty z různých zdrojů. Díky propojení BIM datového modelu, s možností rozšíření o spojení fyzických a virtuálních aktiv objektu, se jeví jako ideální nástroj pro tvorbu digitálního dvojčete.

Samotná tvorba webového rozhraní spočívá ve využití základního kódování a spuštění referenční aplikace, do které lze poté aplikovat vlastní model a data. Pro propojení dat je nutné s procesem integrace počítat již ve fázi návrhu. Využití standardního modelovacího prostředí BIM a vytvořit parametry, které poté umožní spojit data vyčítaná z fyzických uzlů do virtuálního prostředí. Pro veškeré aplikace běžící na platformě Forge jsou k dispozici vývojářské průvodce, díky kterým je umožněna tvorba těchto aplikací i pro uživatele s pouze základní znalostí programovacích procesů. Vstupní prvky lze rozdělit do dvou kategorií, a to modelová návrhová data a procesová data. Tato data je možné nahrát do aplikace v běžných formátech. Podporované formáty návrhových dat jsou běžné IFC formáty a samozřejmě formáty vytvořené pomocí nástrojů společnosti Autodesk, jako je Revit nebo Naviswork. Pro vstup dynamických dat lze využít adaptéry jako je AWS či Azure nebo aplikace podporuje běžné formáty, jako je například datový formát CSV. Právě datový vstup ve formátu CSV byl využit pro tuto práci.



Obrázek 49: Základní systémová architektura – Project Hyperion [35]

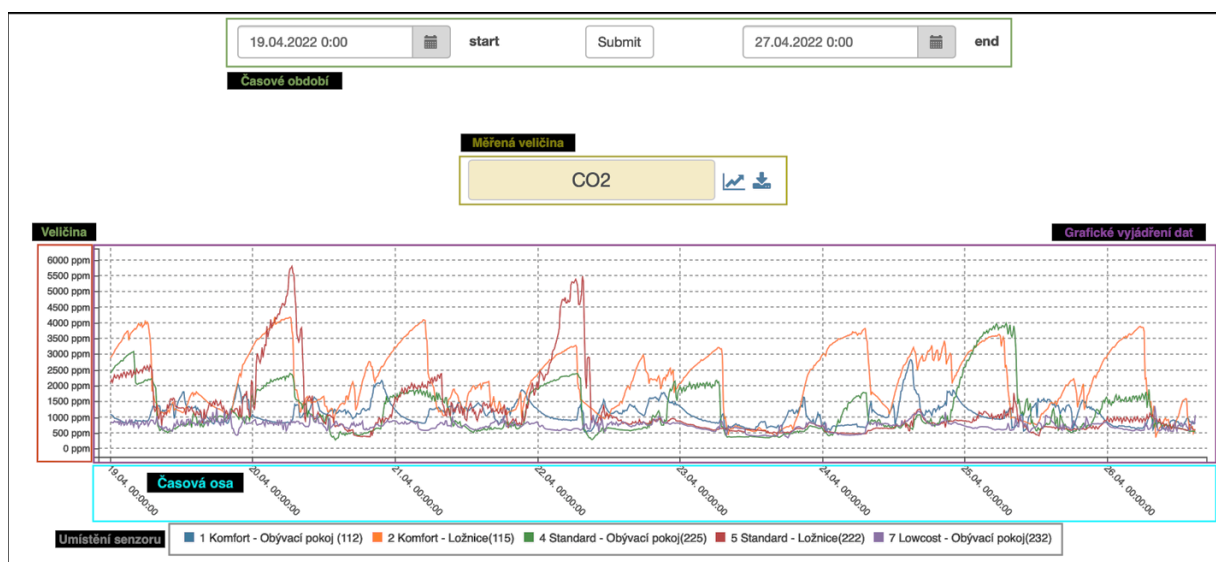


## 7.2. Úprava parametrů modelu

Pro správnou funkci modelu je nutné stanovit vhodné parametry a nastavit standard pro kategorizaci jednotlivých prvků. Vzhledem k tomu, že model objektu je vytvořen v aplikaci společnosti Autodesk, je proces adaptace modelu výrazně zjednodušen. Pro správné fungování modelu bylo nutné pouze sjednotit značení dispozičních parametrů modelu tak, aby byla vizualizace přehlednější. Prohlížečící prostředí služby má definované výškové parametry modelu tak, aby bylo možné lépe nahlížet na zobrazovaná data. Proto je výhodné definovat výšky podlaží od podlahy po stropní konstrukci, aby bylo následně podlaží zobrazeno z náhledu a bylo vidět dovnitř objektu. Tento postup není nezbytný, protože služba nabízí i procházení modelu v první osobě, a tak lze data prohlížet i jiným způsobem, ale zobrazení je poté přehlednější.

## 7.3. Načítání dynamických dat

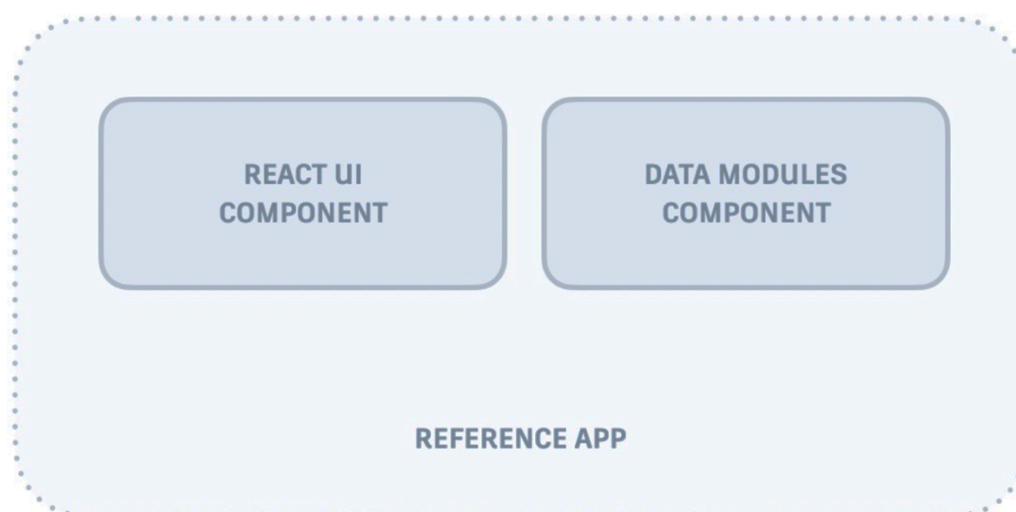
Zpracování dat provádí firma Siemens a zobrazení dat pro účely UCEEB ČVUT je prováděno pomocí webového rozhraní. Tato data jsou shromažďována v reálném čase i historicky právě pro monitoring objektu TiCo. Pro tvorbu digitálního dvojčete bylo využito těchto dat ve formátu CSV. Pro tyto účely však bylo nutné nejprve data přepracovat podle požadavků digitálního dvojčete, který je popsán v kapitole 7.5.3. Na obrázku 50 je zobrazeno uživatelské prostředí pro monitoring dat. Toto prostředí řadí data podle určitého parametru a zobrazuje tyto parametry v jednom grafu pro několik míst objektu.



**Obrázek 50:** Webové rozhraní pro monitoring dat objektu TiCo [Data UCEEB ČVUT]

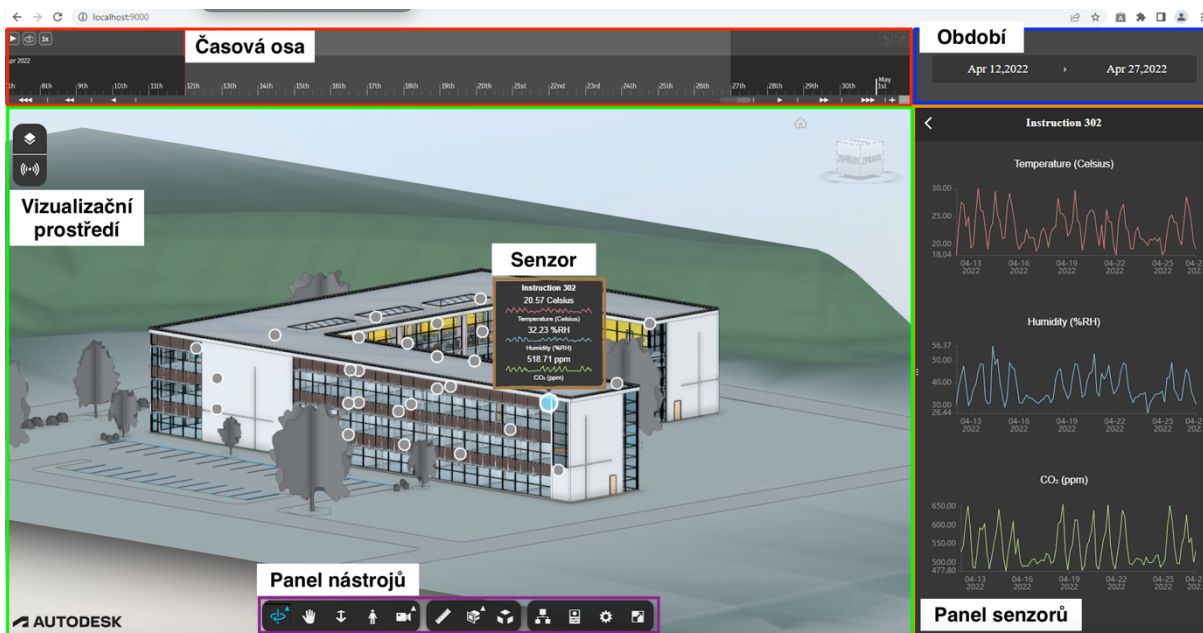
## 7.4. Spuštění a instalace referenční aplikace

Prvním krokem pro vytvoření samotného digitálního dvojčete bylo spuštění referenční aplikace Projektu Hyperion, která je nadstavbou prohlížečského prostředí Autodesk Viewer. Pro spuštění této aplikace bylo využito kódovacího editoru společnosti Microsoft Visual Studio Code, díky kterému lze efektivně prohlížet a modifikovat zdrojový kód naší aplikace. Samotné spuštění referenční aplikace je poměrně jednoduché. Open-source formát kódu, dostupný na platformě GitHub, je volně k dispozici, a tak pro spuštění aplikace stačí naklonovat tento zdrojový kód a potom aplikaci nainstalovat. Aplikace nabízí ukázkový model spolu s již umístěnými senzory, které generují náhodná data a simulují tak reálnou ukázkou funkcí digitálního dvojčete. V rámci této referenční aplikace jsou umístěné dva moduly, díky kterým lze později vkládat vlastní datové moduly a modifikovat uživatelské prostředí podle potřeb konkrétního digitálního dvojčete. Jedná se o datové moduly a reakční modul uživatelského prostředí viz obrázek 51. Tyto moduly je nutné do aplikace nainstalovat, pokud je cílem následně vkládat vlastní data, případně upravovat uživatelské prostředí. Aplikaci samotnou i jednotlivé moduly je možné nainstalovat za pomoci příkazového terminálu a definovaných příkazů. Po instalaci lze spustit referenční aplikaci, která je hostována na lokálním serveru.



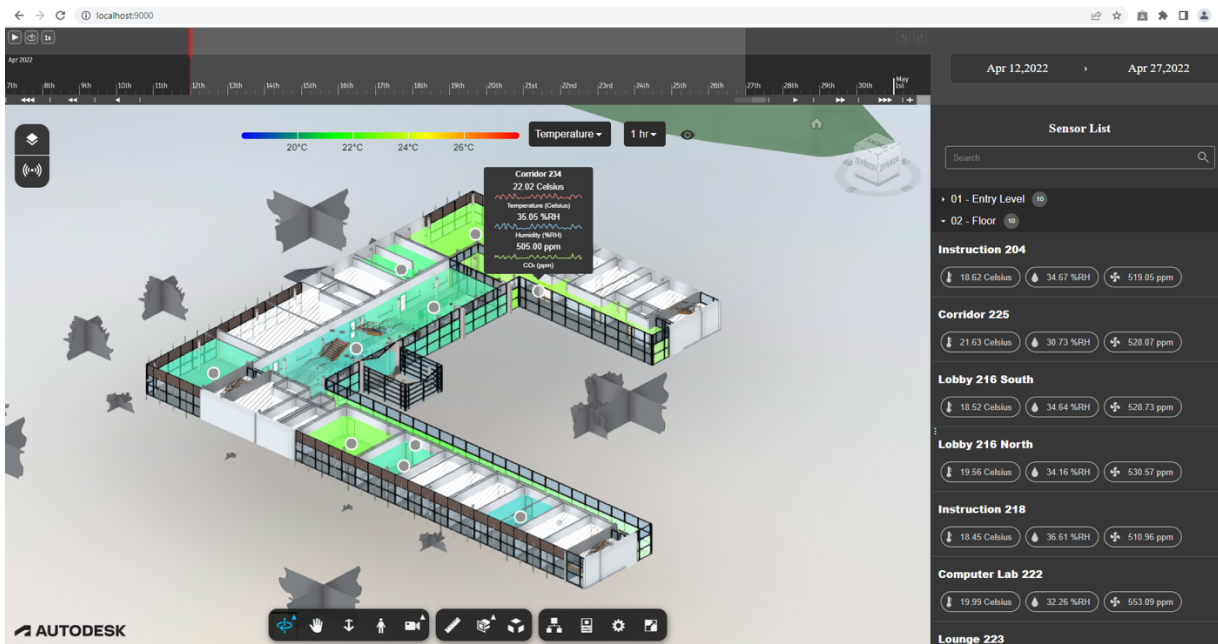
**Obrázek 51:** Schéma integrace modifikačních modulů do aplikace [35]

Samotná referenční aplikace má předdefinované uživatelské prostředí, které se skládá z časové osy, vizualizačního prostředí, seznamu senzorů, nástrojové lišty a panelu pro volbu požadovaného časového úseku viz obrázek 52. Další nástroje, které lze v základním provedení aplikace využít, je rozklad modelu na prvky, prohlížeč vlastností prvků a další nástroje pro prohlížení modelu umístěné na panelu nástrojů jako je například prohlížení modelu z pohledu první osoby. Nástroj je schopný vizualizovat jednotlivé měřené parametry přímo do modelu. Zobrazovaný senzor lze vybrat, buď za pomoci vizualizovaných bodů přímo v modelu, či pomocí seznamu senzorů umístěných v pravé straně aplikace. Po zobrazení požadovaného bodu se na panelu senzorů i přímo ve vizualizačním prostředí zobrazí grafické vyjádření aktuálních a historických hodnot dle nastaveného časového úseku.



Obrázek 52: Uživatelské prostředí [Project Hyperion]

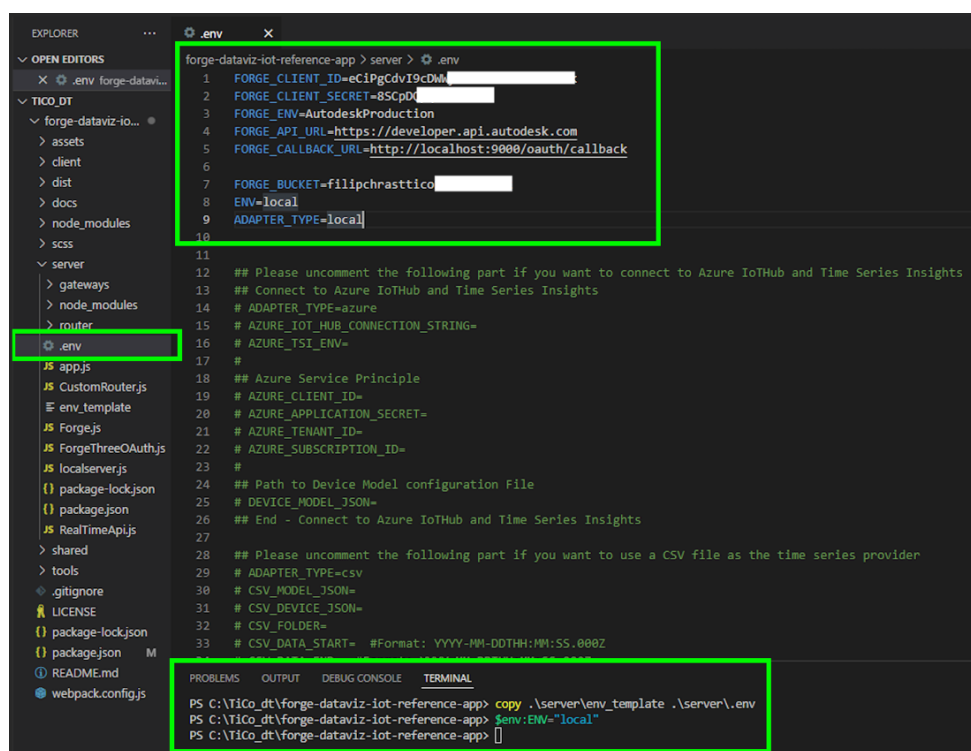
Nástroj má integrovaný modul pro zobrazování tepelných, ale i jiných map přímo do modelu. Na základě umístění jednotlivých uzlů a ohraničení místností dokáže vizualizovat aktuálně zobrazená data, která jsou jednotlivě oddělena pomocí barevné škály. Tento nástroj usnadňuje orientaci v modelu.



Obrázek 53: Vizualizace tepelných map v referenční aplikaci [Project Hyperion]

## 7.5. Nahrání datového modelu do vizualizačního prostředí

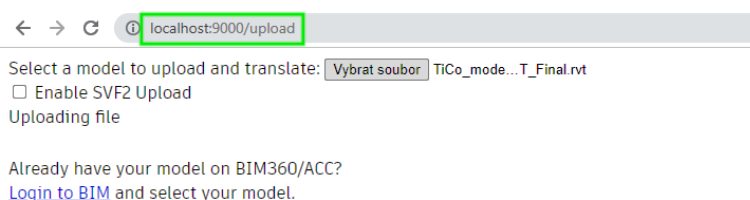
Pro nahrání vlastního datového modelu je nutné vytvořit variabilní soubor pro změnu prostředí a definovat své vlastní parametry pro nahrání modelu. Je nutné mít aktivní účet v rámci platformy Forge, založit vlastní aplikaci, která vygeneruje unikátní parametry účtu, a ty se použijí do tohoto variabilního souboru. Pak je nutné definovat lokální vstup souboru pomocí příkazu v terminálu viz obrázek 54.



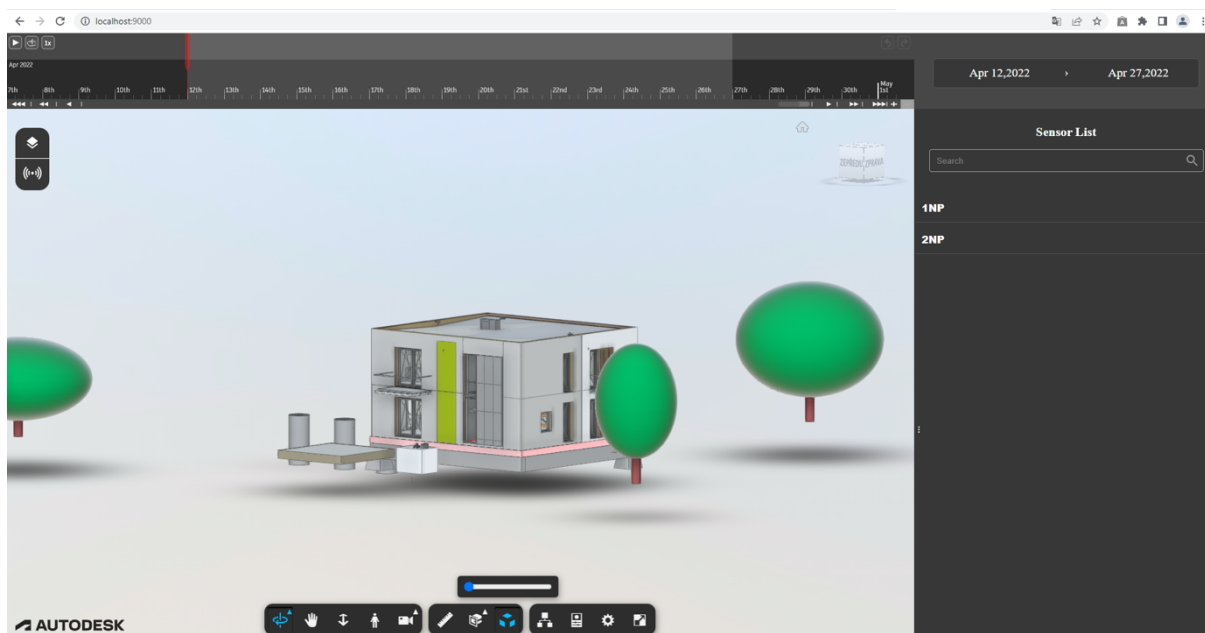
Obrázek 54: Vytvoření variabilního souboru pro úpravu datového prostředí [Microsoft VS Code]

### 7.5.1. Nahrání datového modelu TiCo House

Pokud je správně vytvořený variabilní soubor je možné pomocí nahrávacího modulu aplikace vložit vlastní model v podporovaném formátu. Tento model se automaticky přetransformuje do SVT formátu, se kterým aplikace pracuje. Poté je možné spustit referenční aplikaci s již vloženým vlastním datovým modelem. Potom lze s modelem pracovat stejně jako s referenčním. Jde ho rozkládat, prohlížet, ale v této chvíli zde chybí informace o senzorech a data, která by aplikace mohla zobrazovat. Tato data jsou do aplikace integrována v následujících krocích.



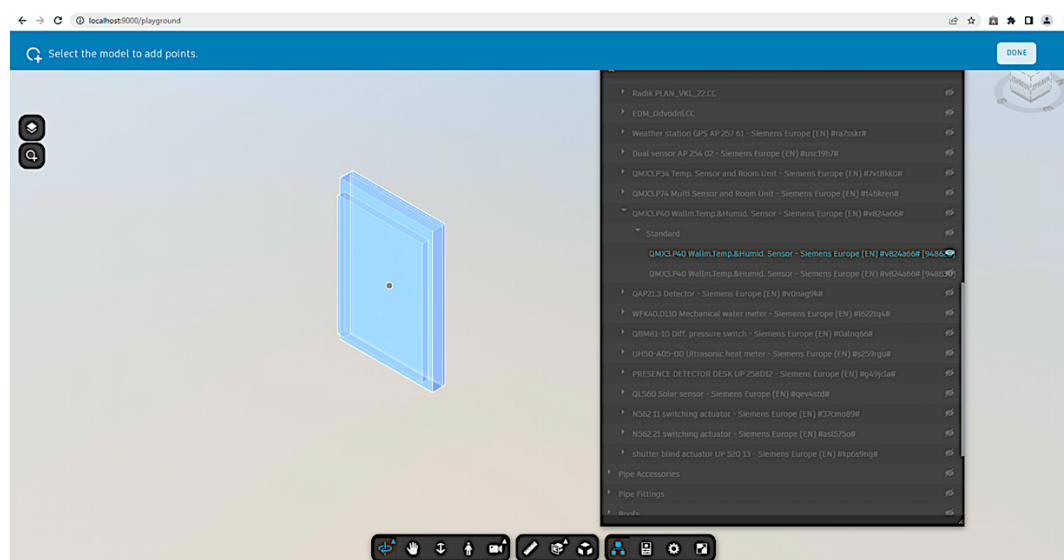
Obrázek 55: Prostředí pro nahrání vlastního datového modelu do aplikace [Project Hyperion - Upload]



Obrázek 56: Vlastní model nahraný do uživatelského prostředí [Project Hyperion]

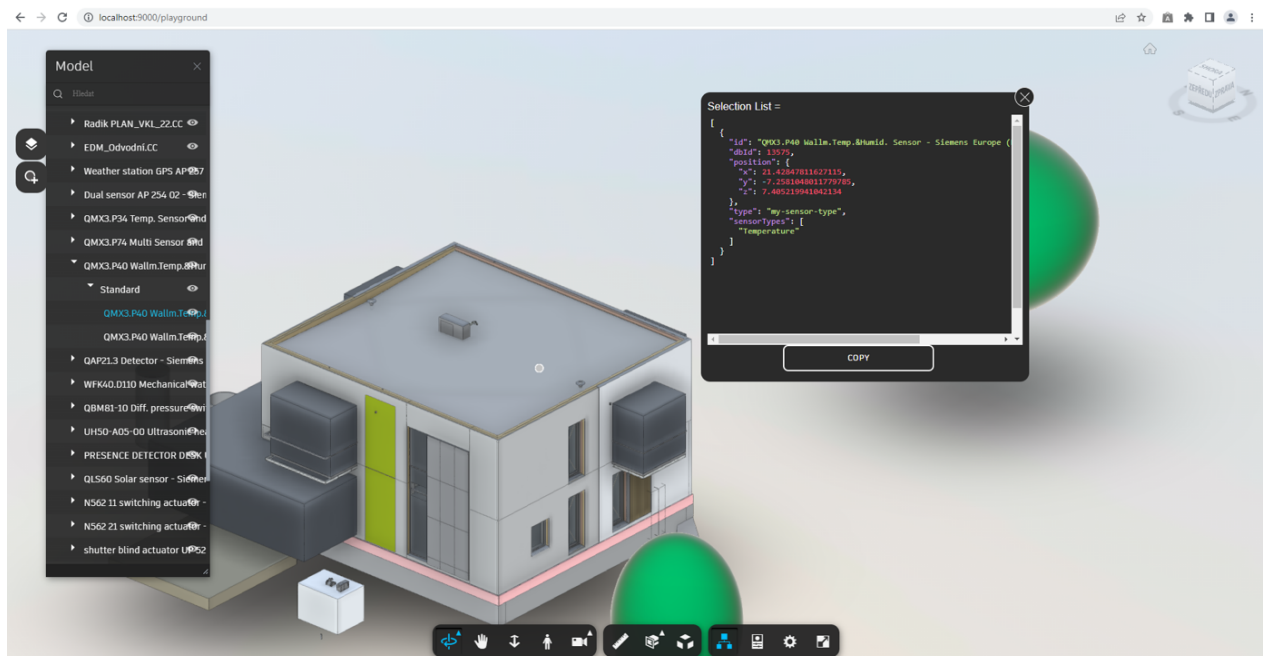
### 7.5.2. Definice virtuálních uzlů

Před samotným procesem vložení dat je nutné nejprve správně nadefinovat virtuální uzly modelu, ke kterým se později přiřadí datové soubory. Pro tento účel lze využít modulu aplikace s názvem Playground. Díky tomu lze správně nadefinovat pozice jednotlivých senzorů bez složitého určování souřadnicového systému a poté je přímo využít v kódu. Spuštění modulu je snadné, protože běží na stejné doméně pouze s doplňkem Playground. Po spuštění tohoto modulu lze ve velmi podobném vizualizačním prostředí vyhledat příslušný senzor a přiřadit mu virtuální bod. Tento bod je možné, buď najít ručně přímo v modelu, či využít panelu prohlížeče modelu a v přehledném kategorizovaném seznamu příslušný senzor vyhledat.



Obrázek 57: Vyhledání zařízení a vložení virtuálního uzlu do modelu [Project Hyperion - Playground]

Parametry tohoto bodu se pak dají jednoduše zobrazit v listu senzorů, kód zkopírovat a později využít pro definici polohy bodů přímo do zdrojového kódu aplikace. Takto definovaný bod se poté zobrazí v náhledovém prostředí aplikace a tímto způsobem můžeme postupně nadefinovat všechny potřebné uzly.



**Obrázek 58:** Umístění dočasných virtuálních uzlů [Project Hyperion - Playground]

### 7.5.2.1. Vložení předdefinovaných uzlů do zdrojového kódu

Pro přiřazení virtuálních bodů jednotlivým přístrojům lze využít nadefinované parametry těchto bodů a vložit je přímo do zdrojového kódu do souboru `devices.json` umístěném ve složce `server/gateway/synthetic-data`. Prostředí Playground nadefinuje několik základních parametrů tohoto bodu, které je potom možné využít pro samotnou identifikaci bodu. Základní parametry nutné pro identifikaci uzlu jsou jeho `id` a název, poté lze bod samotný, buď definovat za pomoci názvu zařízení, souřadnicového určení bodu, či pouze pomocí příslušné místnosti, do které má být bod později vložen. Pro praktickou aplikaci byla využita definice polohy bodu za pomoci souřadnicového systému, protože se jedná o nejpřesnější metodu. Pomocí předem předdefinovaných poloh byly vymezeny veškeré body, ke kterým byly později přiřazena příslušná data. Následně byly nadefinovány jejich okrajové podmínky a pomocí identifikace přiřazeny soubory s příslušnými daty. Tento postup je možné aplikovat v případě použití CSV adaptéru. Pokud by byl použit jiný zdroj dat je nutné nadefinovat je způsobem odpovídajícím tomuto adaptéru.

```

server > gateways > synthetic-data > {} devices.json > {} 0 > [ ] deviceInfo > {} 2
1  [
2  {
3      "deviceModelId": "d371a294-4bd5-4bdb-a3df-396dc131d44f",
4      "deviceInfo": [
5          {
6              "id": "MaR_VOC [948679]-1",
7              "name": "Obyvací pokoj 1.12",
8              "position": {
9                  "x": "11.65120505204085",
10                 "y": "-19.33121868322432",
11                 "z": "-2.1981622725725103"
12             }
13         },
14         {
15             "id": "IAQ114",
16             "name": "Koupelna 1.14",
17             "position": {
18                 "x": "8.667164061070366",
19                 "y": "-13.56792373539735",
20                 "z": "-2.2492954640881777"
21             }
22         },
23         {
24             "id": "MaR_VOC [948680]-1",
25             "name": "Loznice 1.15",
26             "position": {
27                 "x": "11.177222919023293",
28                 "y": "-9.995142817592011",
29                 "z": "-2.1981622725725174"
30             }
31         }
32     ]
33 }

```

Obrázek 59: Nadefinování polohy senzorů v kódu aplikace [Microsoft VS Code]

### 7.5.2.2. Nadefinování měřených parametrů kategorií senzorů

Pro jednotlivé druhy senzorů je nutné určit jaká data, v jakých jednotkách a za jakých podmínek je mají zobrazovat. Pro tento účel je nutné patřičně přizpůsobit soubor device-models.json v adresáři server/gateways/synthetic-data. Zde lze způsobem znázorněným na obrázku 60, definovat název parametru, jeho jednotky a maximální a minimální hodnoty těchto dat. Tímto způsobem lze přidávat, modifikovat či jinak upravovat následné zobrazení dat v konečném uživatelském prostředí pro jednotlivé kategorie senzorů.

```

server > gateways > synthetic-data > {} device-models.json > ...
1  [
2  {
3      "deviceModelId": "d371a294-4bd5-4bdb-a3df-396dc131d44f",
4      "deviceModelName": "Human Comfort Sensor",
5      "deviceModelDesc": "Monitors indoor air quality by measuring levels of Carbon Dioxide (CO2), temperature, and humidity.",
6      "deviceProperties": [
7          {
8              "propertyId": "Temperature",
9              "propertyName": "Temperature",
10             "propertyDesc": "External temperature in Celsius",
11             "propertyType": "double",
12             "propertyUnit": "Celsius",
13             "rangeMin": 18.00,
14             "rangeMax": 28.00
15         },
16         {
17             "propertyId": "Humidity",
18             "propertyName": "Humidity",
19             "propertyDesc": "Relative humidity in percentage",
20             "propertyType": "double",
21             "propertyUnit": "%RH",
22             "rangeMin": 23.09,
23             "rangeMax": 49.09
24         }
25     ]
26 }

```

Obrázek 60: Nadefinování měřených parametrů v kódu aplikace [Microsoft VS Code]

### 7.5.2.3. Konfigurace vyčítaných parametrů

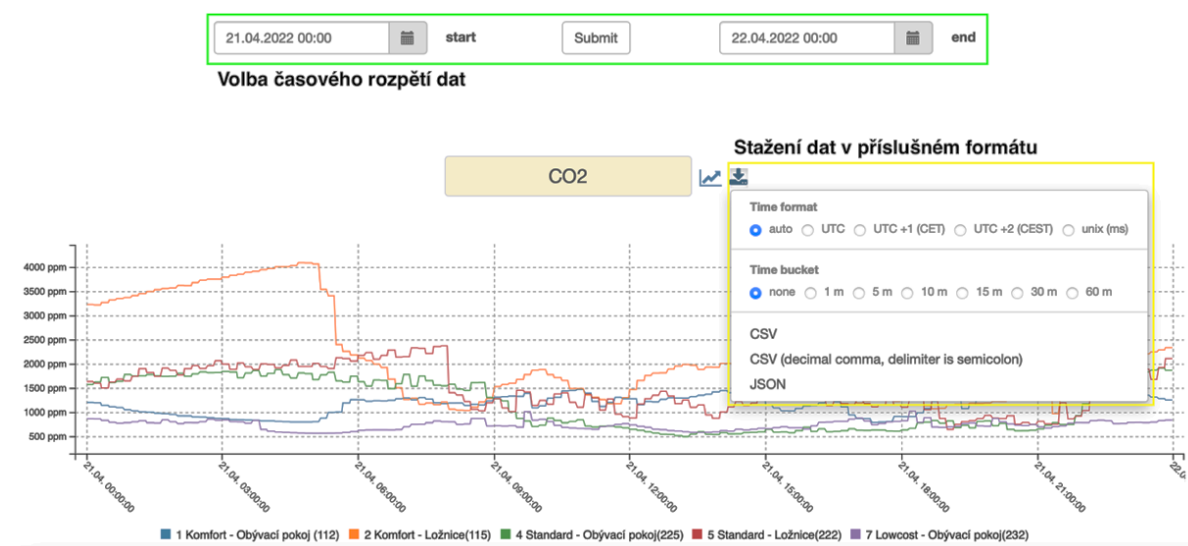
Pro nadefinování vlastností parametrů a jejich okrajových podmínek je využito souboru s názvem config.json umístěný v adresáři server/gateways/synthetic-data. Tento soubor obsahuje základní informace o konfiguraci vizualizačního prostředí pro jednotlivé parametry jako je rozsah grafického rozhraní pro jednotlivé měřené parametry.

### 7.5.3. Datové soubory

Pro zobrazení určitých parametrů, které daný senzor monitoruje je nutné ho spojit s nějakým datovým vstupem. V tomto případě se jedná o vstup v podobě CSV souborů, které byly zpracovány tak, aby odpovídaly požadavkům na formát a pořadí dat. Data s jednotlivým virtuálním uzlem propojí za pomoci identického ID. Díky spárování těchto identifikačních čísel aplikace správně rozezná, která data jsou propojena s jakým uzlem a zobrazí je na správném místě.

#### 7.5.3.1. Vytěžení dat z monitorovacího prostředí UCEEB ČVUT

Data jsou již předem zpracovávána společností Siemens, která má na starosti správu dat objektu. Data jsou z jejich vlastních databází poskytována za účelem monitoringu a vyhodnocování objektu Univerzitnímu centru energeticky efektivních budov ČVUT. Přístup k těmto datům byl umožněn za účelem zpracování této práce a následného vyhodnocení stavu objektu. Data jsou kategorizována na základě vyčítaných parametrů, a proto je bylo nutné po vytěžení dále přeprocovat.



Obrázek 61: Získání požadovaných dat z webového rozhraní [Data UCEEB ČVUT]



### 7.5.3.2. Úprava a naformátování dat pro digitální dvojče

Data poskytnuta Univerzitním centrem energeticky efektivních budov bylo nutné přizpůsobit následné aplikaci. To znamená, že nejprve je potřeba data uspořádat na základě jednotlivých měřících bodů. Původní kategorizace dat byla na základě měřených parametrů. Ovšem pro účely této aplikace je nutné mít k dispozici měřená data podle senzorů. Tato data byla shromážděna a pomocí softwaru CSVed přizpůsobena následnému použití. Byly shromážděny informace o kvalitě vnitřního prostředí celkem pro 8 jednotlivých místností objektu. V těchto místnostech byly sledovány následující parametry: teplota, relativní vlhkost, koncentrace CO<sub>2</sub> a ekvivalentní koncentrace VOC látek.

Po sjednocení požadovaných dat dle uzlů bylo nutné data správně upravit do předdefinovaného formátu. Jednotlivá data musí být oddělena specifickým znakem. V původní konfiguraci byly odděleny za pomoci tabulátoru, ale v našem případě byl využit jako oddělovač dat středník. Jako oddělovač řádků bylo využito oddělovače v podobě klávesy enter. Dále je pro čtení definované požadované počáteční slovo kódu a formát souboru. Aby byl systém schopný správně číst časové údaje je nutné dodržet požadovaný časový formát. Výsledná data jsou zobrazena na obrázku 62.

```
time;Temperature;Humidity;CO2;VOCekvCO2
2022-04-21T00:00:00.000Z;22.514;50.864;1205.205;1025.994
2022-04-21T00:01:00.000Z;22.528;50.961;1210.155;1030.002
2022-04-21T00:02:00.000Z;22.514;50.958;1224.498;1050.516
2022-04-21T00:03:00.000Z;22.498;50.97;1236.143;1047.942
2022-04-21T00:04:00.000Z;22.485;51.157;1238.033;1050.179
2022-04-21T00:05:00.000Z;22.514;50.958;1235.95;1040.962
2022-04-21T00:06:00.000Z;22.498;51.171;1238.401;1055.327
2022-04-21T00:07:00.000Z;22.498;50.97;1243.861;1060.475
2022-04-21T00:08:00.000Z;22.514;50.971;1196.067;1043.359
2022-04-21T00:09:00.000Z;22.485;50.93;1197.945;1059.174
2022-04-21T00:10:00.000Z;22.485;50.848;1211.316;1045.252
2022-04-21T00:11:00.000Z;22.498;51.003;1209.547;1051.12
2022-04-21T00:12:00.000Z;22.498;50.695;1200.156;1048.003
2022-04-21T00:13:00.000Z;22.498;50.768;1192.227;1046.226
2022-04-21T00:14:00.000Z;22.485;50.788;1191.652;1041.134
2022-04-21T00:15:00.000Z;22.498;50.91;1189.967;1053.323
2022-04-21T00:16:00.000Z;22.472;50.906;1202.414;1039.385
```

**Obrázek 62:** Formát dat pro digitální dvojče [TextEditor]

#### 7.5.4. Zprovoznění datového adaptéru

Pokud jsou správně zvolené a upravené soubory definované v předchozích kapitolách, je nutné ještě určit modelu správný zdroj dat. Pro tento účel slouží soubor obsahující variabilní data prostředí. Tento soubor byl v předchozí fázi využíván pro načtení vlastního modelu do prostředí aplikace a teď tato data využije pro změnu zdroje dat. Pro využití zvoleného CSV data adapteru je nutné okomentovat část kódu znázorněnou na obrázku 63. Vzhledem k tomu, že je nutné tato data zanást i do ostatních částí kódu musíme využít příkazů, která tyto parametry nadefinují globálně. Tyto příkazy jsou patrné v části terminálu na obrázku 64. Tímto způsobem postupně je potřeba nadefinovat typ adaptéru, z jakých souborů má model číst údaje o senzorech nadefinované v kapitole 7.5.2, složku ve které se nacházejí data a časový údaj pro zobrazení na časové ose. Dále je nutné v závislosti na samotném formátu CSV souborů a dat v nich určit parametry pro čtení těchto souborů. Mezi tyto parametry patří oddělovače jednotlivých dat či počáteční hodnota, od které aplikace data čte. Tyto soubory musí být správně naformátovány, jinak by aplikace nebyla schopna data číst.

```
27
28  ## Please uncomment the following part if you want to use a CSV file as the time series provider
29  ADAPTER_TYPE=csv
30  CSV_MODEL_JSON=forge-dataviz-iot-reference-app\server\gateways\synthetic-data\device-models.json
31  CSV_DEVICE_JSON=forge-dataviz-iot-reference-app\server\gateways\synthetic-data\devices.json
32  CSV_FOLDER=forge-dataviz-iot-reference-app\server\gateways\csv
33  CSV_DATA_START=2011-02-01T08:00:00.000Z #Format: YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.000Z
34  CSV_DATA_END=2011-02-20T13:51:10.511Z #Format: YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.000Z
35  CSV_DELIMITER=";"
36  CSV_LINE_BREAK="\n"
37  CSV_TIMESTAMP_COLUMN="time"
38  CSV_FILE_EXTENSION=".csv"
39  ## End - Please uncomment the following part if you want to use a CSV file as the time series provider
40
```

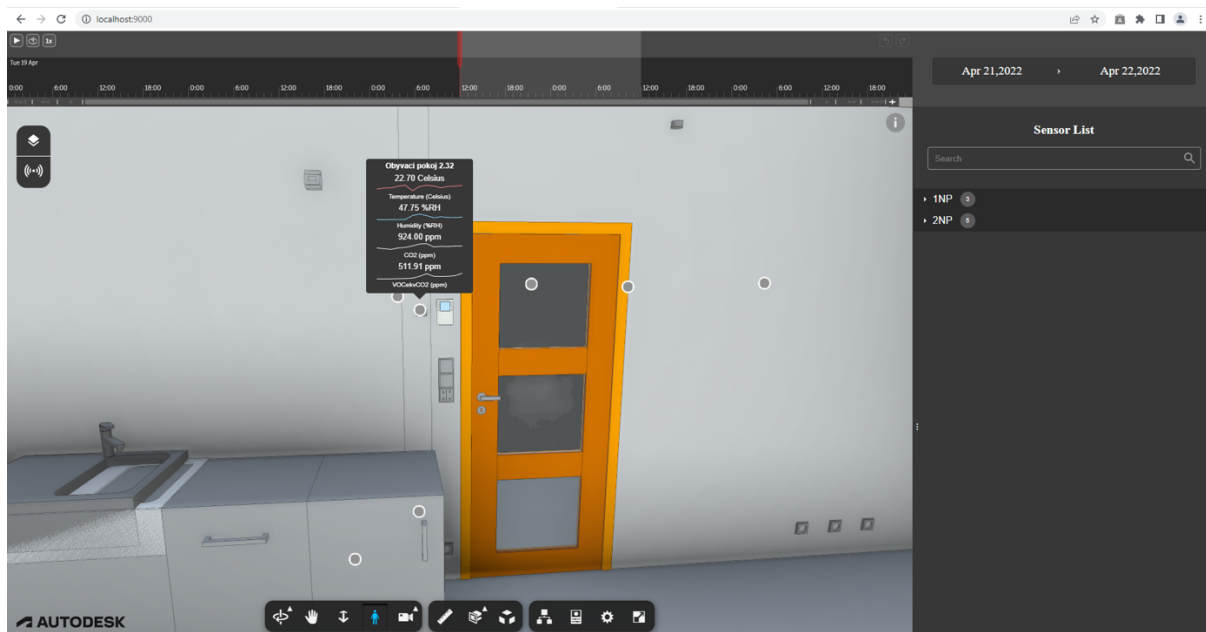
Obrázek 63: Uživatelské přizpůsobení variabilního prostředí [Microsoft VSCode]

```
PROBLEMS  OUTPUT  DEBUG CONSOLE  TERMINAL
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:ADAPTER_TYPE="csv"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_MODEL_JSON="server\gateways\synthetic-data\device-models.json"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_DEVICE_JSON="server\gateways\synthetic-data\devices.json"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_FOLDER="server\gateways\csv"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_DATA_START="2022-04-21T00:00:00.000Z"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_DATA_END="2022-04-21T23:59:00.000Z"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_DELIMITER=";"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_LINE_BREAK="\n"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_TIMESTAMP_COLUMN="time"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> $env:CSV_FILE_EXTENSION=".csv"
PS C:\Digital_twin_TiCo\forge-dataviz-iot-reference-app> █
```

Obrázek 64: Příkazy pro přepsání variabilních dat [Microsoft VSCode]

## 7.6. Vizualizace dat v uživatelském prostředí

Výsledkem tohoto postupu je vizualizace požadovaných dat přímo v informačním modelu. V této konfiguraci služba nabízí stejné funkce, jaké byly popsány pro referenční aplikaci v kapitole 7.4., ale s tím rozdílem, že vstupem jsou reálná data našeho objektu naměřená fyzickými senzory umístěnými ve vlastním objektu. Díky tomu je možné v čase sledovat a vyhodnocovat požadovaná data z objektu. Pokud by byl pro vstup využit adaptér, který zároveň poskytuje analytické služby bylo by možné pomocí těchto služeb data nejen monitorovat, ale také nastavit zpětnovazební reakce a případně ovládat technické systémy objektu. Zapojením služeb pro predikci stavu je možné předpovídat budoucí stav objektu a případně nastavit upozornění při změnách stavu systému.



**Obrázek 65:** Prohlížení objektu v pohledu z první osoby a vizualizace datových uzlů [Project Hyperion]

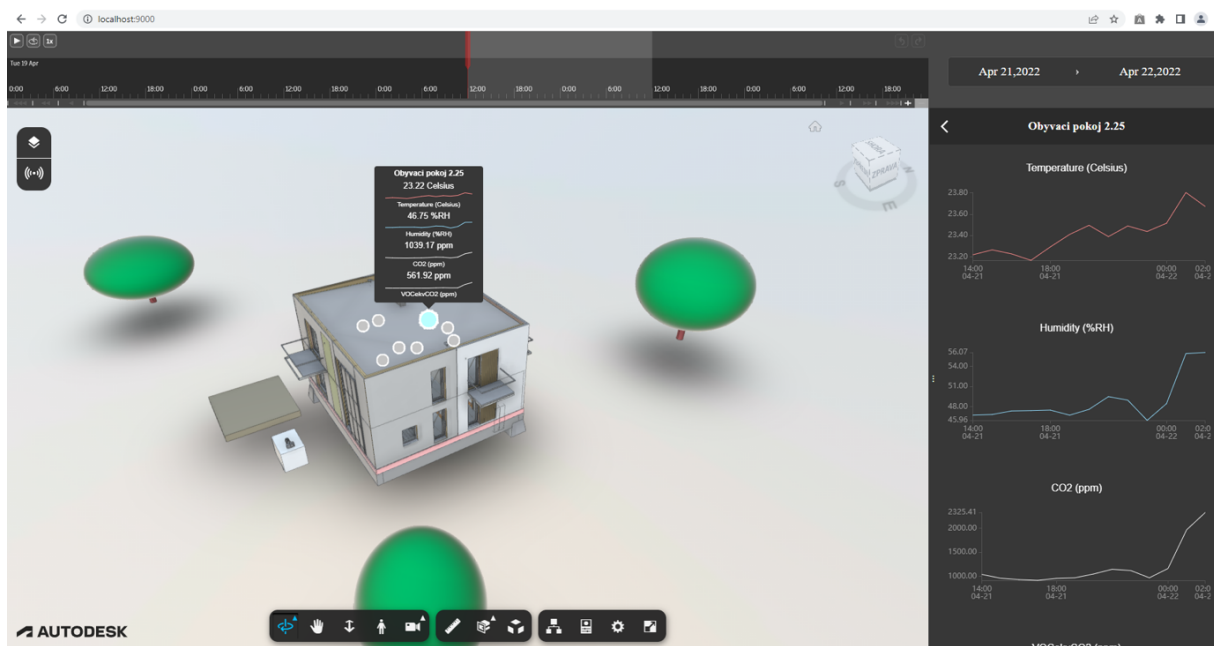
## 8. Vyhodnocení

V této kapitole je znázorněna ukázka výsledků práce na digitálním dvojčeti a představení jeho možností využití pro správu budovy.

### 8.1. Vizualizace modelových dat v informačním modelu

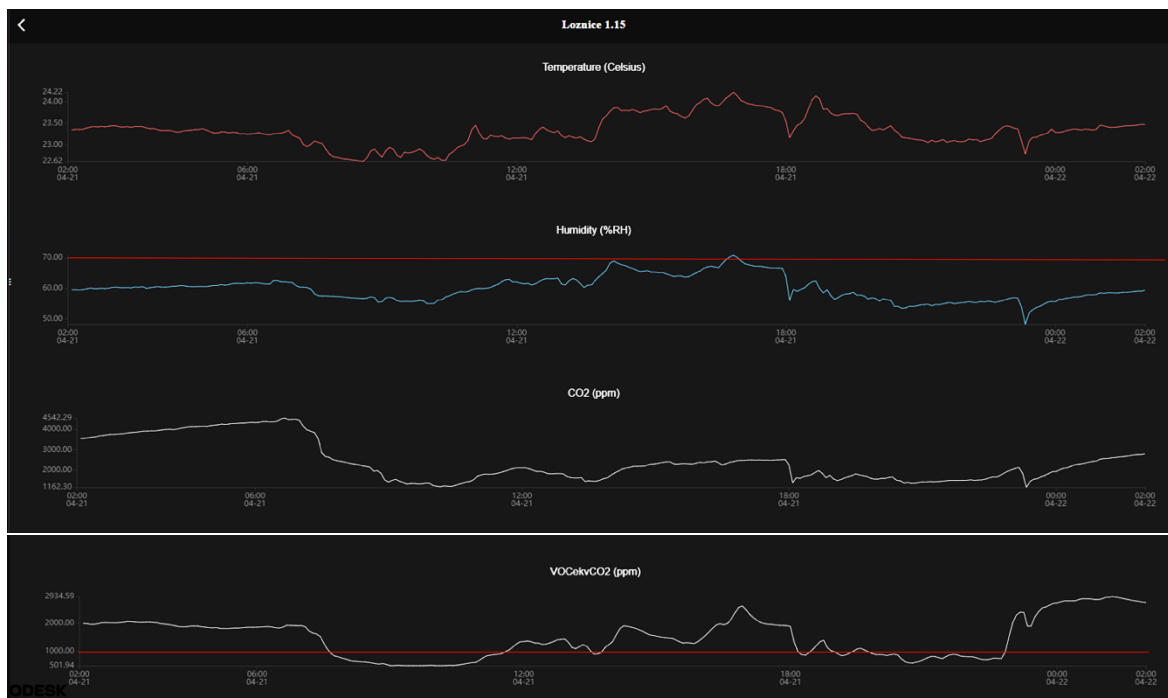
Pro názornou ukázkou možných funkcí digitálního dvojčete byla provedena simulace modelového dne s reálnými daty vyčítanými z fyzických aktiv umístěných v objektu TiCo House. Dle určených okrajových podmínek definovaných v kapitole 6.6. byly zobrazeny a následně vyhodnoceny parametry vnitřního prostředí objektu. Jedná se o názornou ukázkou možností využití, ovšem vzhledem k omezeným datovým zdrojům nelze mluvit přímo o důkladné analýze těchto parametrů a příčin. V této fázi je digitální dvojče spíše připraveno pro účely užití pro správu a monitoring objektu, ne k důkladné multikriteriální analýze. Ovšem tyto funkce jsou podmíněny pouze správným typem datového adaptéru a případnému použití analyzačních nástrojů, což je spíše otázka přístupu k datům či k příslušným službám, než konfigurace aplikace.

Byly zobrazeny data pro 8 datových uzlů umístěných v různých místnostech objektu. Měřené veličiny těchto datových uzlů jsou teplota, vlhkost, koncentrace CO<sub>2</sub> a ekvivalentní koncentrace VOC.



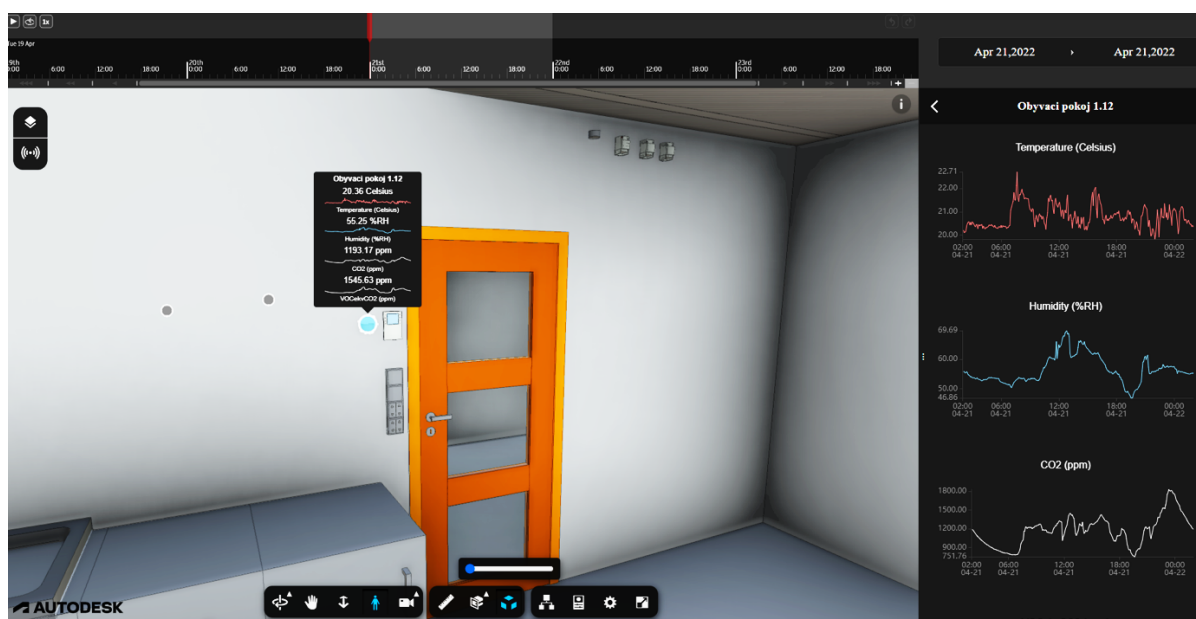
Obrázek 66: Zobrazení datových uzlů ve vlastním modelu [Project Hyperion]

Z těchto uzlů byly následně zobrazeny data, které byly srovnány s určenými požadavky. Díky přehlednému zobrazení v grafické podobě je možné přesně určit v jakém momentu byly případně požadavky překročeny. No obrázku 67 jsou zobrazeny hodnoty všech měřených veličin v průběhu dne pro jeden z uzlů, spolu se zobrazením limitních hodnot u veličin, které vystupují ze stanovených limitů. Na základě této analýzy lze přesně stanovit čas překročení daných hodnot a případně určit návaznosti těchto hodnot.



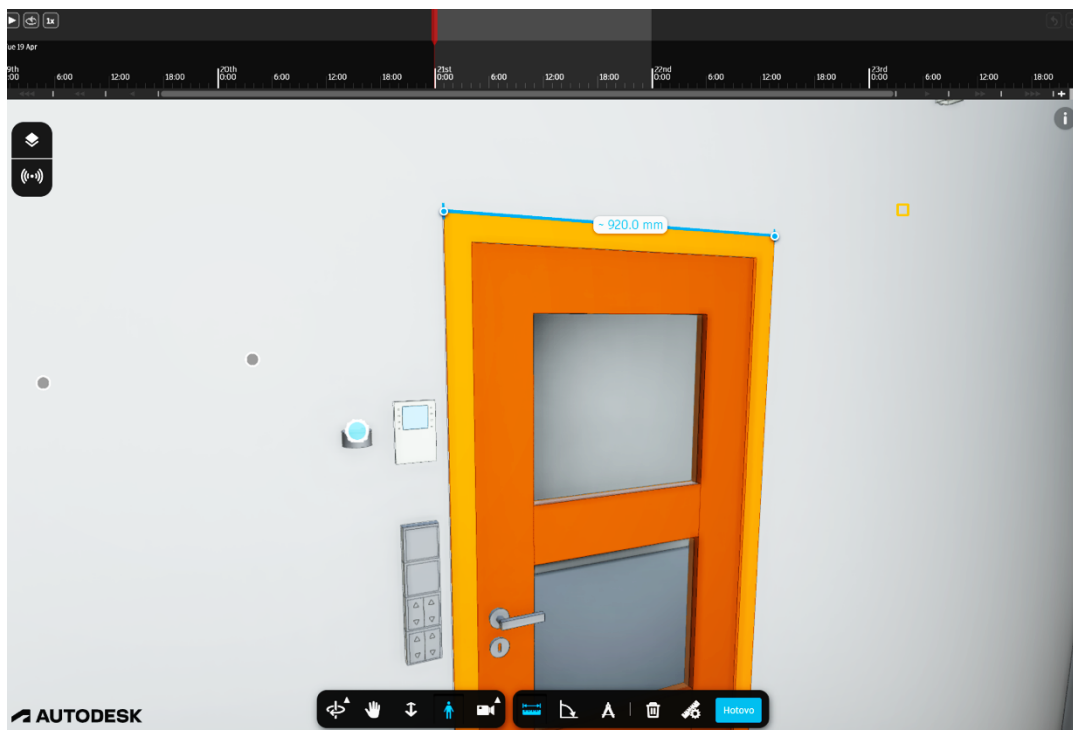
**Obrázek 67:** Grafické znázornění průběhu hodnot měřených veličin a zobrazení limitních hodnot [Project Hyperion]

Tato data si můžeme zobrazit v modelu v režimu prohlížení v první osobě. Ta umožní celý model důkladně projít a zobrazit požadovaná data přímo v místě daného senzoru a zkontrolovat tak současná i historická data přímo v kontextu dané místnosti. Funkce umožní uživateli zajímavý a názorný pohled na souvislosti jednotlivých systémů jeho budovy. Tato data lze prohlížet vzdáleně se získáním všech potřebných informací o objektu. To nabízí usnadnění práce především správcovským firmám, které mohou analyzovat objekty ve svém portfoliu na dálku a bez ztráty kontextu, způsobené nedostatkem informací.



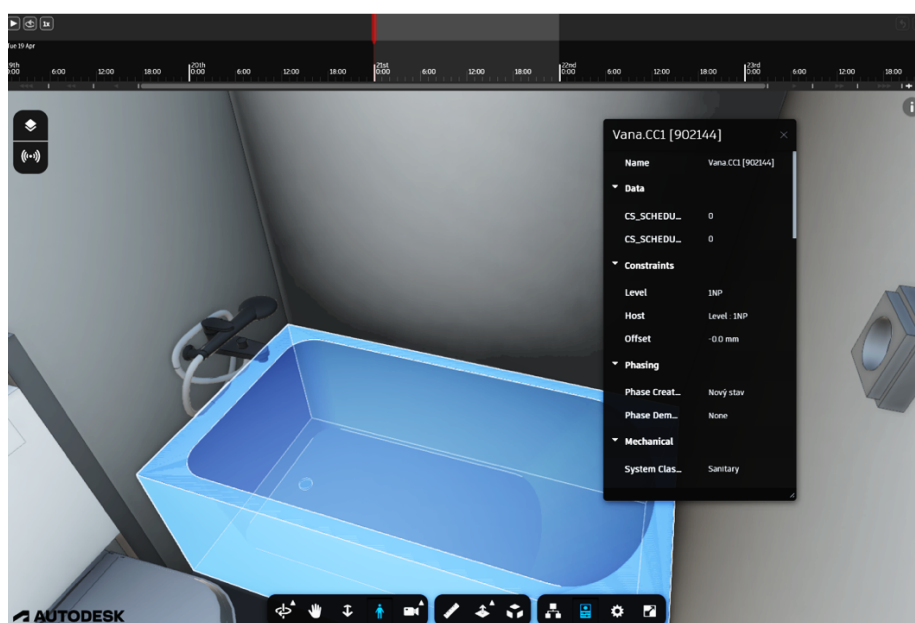
**Obrázek 68:** Zobrazení datových uzlů v pohledu první osoby [Project Hyperion]

Služba umožňuje přímo v modelu měřit vzdálenosti a úhly. Tato funkce opět nabízí rozšíření vzdálené správy budovy, kdy nebude nutná osobní přítomnost technika či další komunikace s uživatelem a technik si bude moci ověřit správnost podkladů přímo v digitálním dvojčeti.



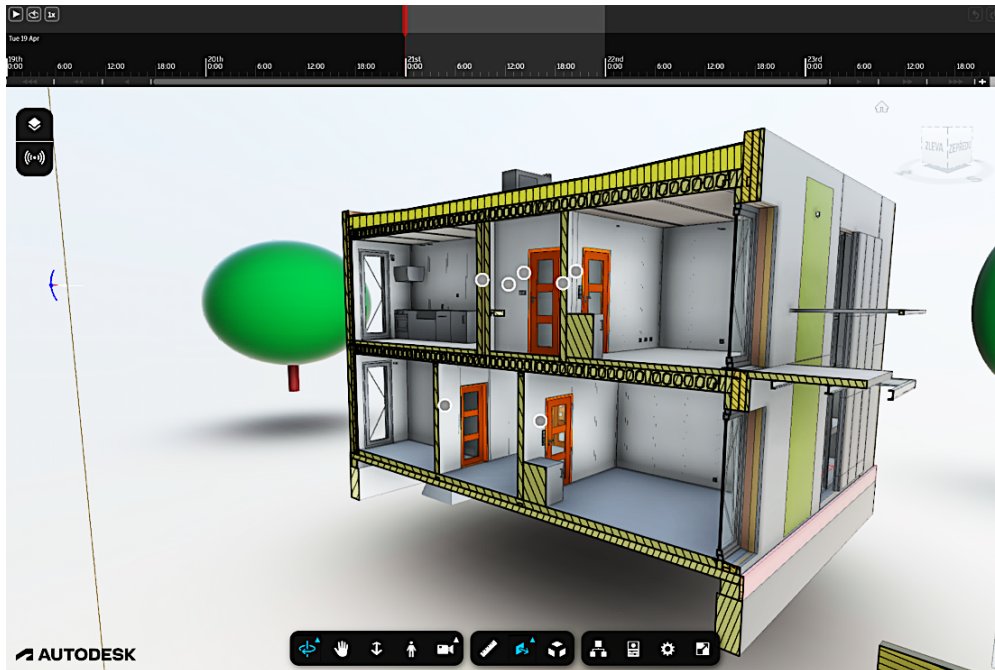
**Obrázek 69:** Ukázka možností měření přímo v modelu [Project Hyperion]

V modelu lze také zobrazit parametry pro jednotlivé prvky objektu. Tyto parametry jsou převzaty přímo z informačního modelu, takže závisí především na jeho přesnosti. Tímto způsobem lze prohlížet jednotlivé prvky, zobrazovat jejich vlastnosti a tyto informace využít pro další služby.



**Obrázek 70:** Zobrazení vlastností jednotlivých prvků modelu [Project Hyperion]

Další služba, kterou digitální dvojče nabízí, je analýza řezů ve vertikálním i horizontálním směru. To umožní pohled do jednotlivých konstrukce a analýzu těchto prvků přímo v uživatelském prostředí, bez nutnosti znalostí softwaru pro tvorbu informačních modelů. V rámci těchto řezových rovin lze zobrazit jednotlivé prvky, které jsou v konstrukcích zabudovány.



*Obrázek 71: Analýza vertikálního řezu [Project Hyperion]*



*Obrázek 72: Analýza horizontálního řezu [Project Hyperion]*

Digitální dvojče tedy nabízí služby, které poskytují kompletní přehled o veškerých prvcích a systémech budovy. Přesná vizualizace objektu s využitím informačního modelu, spolu s daty zobrazovanými historicky i v reálném čase, umožňují uživateli platformy komplexní přehled o daném objektu. Díky těmto funkcím lze objekty na dálku spravovat, zjišťovat příčiny anomálií systému a mít tak celkový přehled o objektu bez nutnosti fyzické přítomnosti.

Digitální dvojče v této podobě má řadu využití, a to jak pro přímé obyvatele objektu, tak pro správcovské společnosti. Zapojení tohoto konceptu je v případě existujícího informačního modelu s dostatečnou úrovní vývoje jednotlivých prvků časově nenáročná disciplína a umožňuje nahlížet na objekt dynamicky a přizpůsobovat jeho funkce aktuálním potřebám uživatel. Všechny tyto vlastnosti digitálního dvojčete jsou dobrým předpokladem, aby se digitální dvojče stalo součástí provozní fáze životního cyklu jednotlivých objektů a pomohlo tak tuto fázi optimalizovat dle příslušných požadavků uživatel.

## 8.2. Analýza nákladů a přínosů

Pro vyhodnocení ekonomických přínosů zapojení digitálního dvojčete, jako nástroje pro hodnocení stavu objektu v provozní fázi životního cyklu, byla provedena analýza nákladů a přínosů dle metodiky, kterou sestavila BIM TASK GROUP. [37] Vyhodnocení těchto přínosů je spíše orientační, protože se jedná o experimentální projekt, a některé údaje tak mohou být mírně zkreslené. Nicméně i tak lze díky této analýze vyhodnotit předpokládané přínosy zapojení tohoto konceptu. Dle výsledků uvedených na obrázku 73 lze zhodnotit, že přínos zapojení metody BIM je v tomto případě výhodnější ve fázi provozu a údržby, než ve fázi plánování a navrhování.

ÚROVEŇ BIM 1	
Benefit-Cost Ratio (poměr přínosů a nákladů)	1,06
Net Present Value (čistá současná hodnota) (€)	2 255
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	2,09
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	129 391
<b>BIM direct expenses during construction phase:</b>	
Náklady na informační model stavby (€)	-
Náklady na informační model stavby (€)	10 281
<b>Podle jednotlivých fází:</b>	
<b>Plánování a navrhování</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	-
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	21 251
<b>Provádění stavby</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	9,67
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	179 692
<b>Provoz a údržba</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	0,80
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	18 125
ÚROVEŇ BIM 2	
Benefit-Cost Ratio (poměr přínosů a nákladů)	1,69
Net Present Value (čistá současná hodnota) (€)	81 068
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	2,76
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	208 204
<b>Přímé výdaje na BIM:</b>	
Náklady na informační model stavby (€)	-
Náklady na koordinaci informačního modelování stavby (€)	1 250
<b>Podle jednotlivých fází:</b>	
<b>Plánování a navrhování</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	0,67
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	8 856
<b>Provádění stavby</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	13,90
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	183 002
<b>Provoz a údržba</b>	
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	1,61
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	55 995

Obrázek 73 : Výsledky úrovně BIM [Analýza nákladů a přínosů]



## Závěr

Koncept digitálního dvojčete je v rámci čtvrté průmyslové revoluce využíván v jiných průmyslových odvětvích, kde výrazně přispívá ke zvýšení efektivity výroby i provozu. Stavební průmysl je poměrně konzervativní a jeho digitalizace jde oproti jiným odvětvím velmi pomalu, převážně kvůli jeho specifickým podmínkám výroby. Z tohoto důvodu je důležité hledat možnosti, jak tyto nástroje adaptovat pro specifické použití ve stavebnictví. Okrajové podmínky výroby produktů vznikajících stavební činnostmi velice limitují použití těchto nástrojů pro fázi vývoje a výroby. Díky postupnému rozšíření informačního modelování je k dispozici vhodný vstupní produkt, který je možné pro tvorbu digitálního dvojčete využít a přizpůsobit jej pro použití právě v provozní fázi životního cyklu budovy.

Vytvořením digitálního dvojčete objektu a jeho zapojením do provozní fáze životního cyklu lze rozšířit portfolio analyzačních nástrojů, které jsou v současné době k dispozici. Díky propojení informačního modelu s dynamickými daty a jeho vizualizaci v uživatelsky přívětivém prostředí lze tento nástroj nabídnout široké veřejnosti a usnadnit tím tak přehled o jednotlivých funkcích objektu jeho uživatelům a rozšířit tak jejich povědomí o tom, jak jejich objekt vlastně funguje. Díky nabídce širokých služeb a funkcí lze objekt komplexně analyzovat i bez jakýchkoliv znalostí softwaru pro tvorbu informačních modelů, což mohou s výhodou využít jak uživatelé objektu, tak jednotlivé firmy zabývající se správou objektů.

První cíl práce spočíval především v prozkoumání možností jak a za jakých podmínek je možné koncept digitálního dvojčete integrovat do stavebního průmyslu. Pro tento účel byly analyzovány možnosti současného trhu a definovány jednotlivé okruhy možného využití konceptu.

Cíle č. 2 - 5 spočívají už v samotné tvorbě digitálního dvojčete a jeho praktické aplikaci na reálný objekt. Tyto cíle byly naplněny s využitím kódovací platformy Autodesk Forge, s jejíž pomocí byla vytvořena virtuální kopie objektu TiCo. Pro účel této práce nebyly zapojeny datově analyzační nástroje, které mohou být výrazným přínosem pro funkce dvojčete. Tyto služby nebyly využity především proto, že neposkytují vhodné zkušební licence. Byly však definovány možnosti využití těchto služeb a jakým způsobem je možné je případně integrovat do konceptu.

Jako hlavní cíl celé práce lze považovat vymezení možností využití konceptu digitálního dvojčete pro stavební průmysl, volba vhodné varianty jakým způsobem toto dvojče vytvořit a následná praktická aplikace na reálný projekt s využitím odpovídajících dat objektu. Všechny tyto cíle lze vytvořením digitálního dvojčete objektu TiCo považovat za splněné. Koncept lze modifikovat a doplnit o další prospěšné funkce, což může být předmětem dalšího zkoumání konceptu. Všechny získané poznatky byli interpretovány v práci a představeno jejich možné zapojení.

## Literatura

### Knihy a skripta

- [1] PLATIL, Antonín, Pavel RIPKA a České vysoké učení technické v Praze. Elektrotechnická fakulta. *Senzory a převodníky: laboratorní cvičení*. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 2004. ISBN 8001028739;9788001028735;.
- [2] RIPKA, Pavel a České vysoké učení technické v Praze. Elektrotechnická fakulta. *Senzory a převodníky*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 8001031233;9788001031230;.
- [3] SACKS, Rafael, EASTMAN, Chuck, LEE, Ghang a TEICHOLZ, Paul. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors and Facility managers*. 3 vydání. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2018. [cit. 11.5.2022]. ISBN 978-1-119-28753-7.

### Vyhlášky a ČSN

- [4] ČSN EN ISO 19650-1 (730150). *Organizace a digitalizace informací o budovách a inženýrských stavbách včetně informačního modelování staveb (BIM) - Management informací s využitím informačního modelování staveb část 1: Pojmy a principy*. Praha: ÚNMZ, Říjen 2019
- [5] *Vyhláška č.20/2012 Sb. o technických požadavcích na stavby*. Praha. Leden 2012
- [6] *Vyhláška č.6/2003 Sb. kterou se stanoví hygienické limity chemických, fyzikálních a biologických ukazatelů pro vnitřní prostředí obytných místností některých staveb*. Praha. Leden 2003

### Konference

- [7] FEUTSEL, Milena. Využití BIM ve fázi provozu, příklady z Německa. In: *Summit konference BIM 2022, 24. Února 2022, Praha* [online]. Dostupné z: <https://summitkonceptebim.cz/>
- [8] SAAR, Jaan. Digitální platforma stavebnictví v Estonsku. In: *Summit konference BIM 2022, 24. Února 2022, Praha* [online]. Dostupné z: <https://summitkonceptebim.cz/>

[9] Schön, Kateřina. Tvorba datového standardu staveb jako základ informačního modelování. In: *Summit konference BIM 2022. 24. Února 2022, Praha* [online]. Dostupné z: <https://summitkonceptebim.cz/>

[10] ROXIN, Ana, ABDOU, Wahabou, GINHAC, Dominique, DERIGENT, William, DRAGOMIRESCU, Daniela a MONTEGUT, Laurent. Digital building twins - Contributions of the ANR McBIM project. 15th International Conference on Signal Image Technology and Internet Based Systems, SISITS 2019, 404–410. <https://doi.org/10.1109/SITIS.2019.00071>

### Internetové zdroje - odborné články

[11] KHAJAVI, Siavash H., MOTLAGH, Naser Hossein, JARIBION, Alireza, WERNER, Liss C. a HOLMSTRÖM, Jan. *Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings*. [online]. IEEE. 2019. [cit.2022-03-12].

Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8863491>

[12] QIUCHEN, Lu, PARLIKAD, Ajith Kumar, WOODALL, Philip a XIANG, Xie. *Developing a dynamic digital twin at building and city levels: A case study of the West Cambridge campus. Journal of Management in Engineering*. [Online]. Journal of Management in Engineering. 2019. [cit.2022-03-12].

Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/337008077\\_Developing\\_a\\_dynamic\\_digital\\_twin\\_at\\_building\\_and\\_city\\_levels\\_A\\_case\\_study\\_of\\_the\\_West\\_Cambridge\\_campus](https://www.researchgate.net/publication/337008077_Developing_a_dynamic_digital_twin_at_building_and_city_levels_A_case_study_of_the_West_Cambridge_campus)

[13] KETTNER, Lukáš. *Laserscan do BIM, díl 2. – tvorba modelu* [online]. 2.10.2020 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://cadbim.cz/laserscan-do-bim-2/>

[14] ROSATI, Carlo Alberto, CERVO, Andrea a FANTUZZI Cesare. *Air Quality Monitoring in a BIM model by means of a IoT Sensors Network*. [online]. IEEE. 2020. [cit.2022-03-12]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9243508>

[15] LODL, Jan a Růžena KENTOŠOVÁ. *BIM není jen teorie. Může být cestou k efektivnější státní správě*. Časopis Konstrukce. [online]. Česká agentura pro standardizaci, 2021, 13.5.2021 [cit. 2022-05-03].

[16] MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, *Reinventing construction: a route to higher productivity* [online] 2017, 02/2017 [cit. 2022-03-12] Dostupné z: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution>

- [17] TUNKA, Lukáš. *LOD - Level Of Development: Co znamená pojem Level of Development pro spolehlivost informačního modelu stavby*. BIMinfo [online]. Praha: CAD Studio, 2021, 14.4.2016 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/LOD-Level-Of-Development.aspx>
- [18] NĚMEČKOVÁ, Romana. *Správa a vizualizace dat z Revitu, díl 1*. CADBIMCZ [online]. Praha: CADconsulting, spol., 2022, 18.12.2020 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://cadbim.cz/sprava-a-vizualizace-dat-z-revitu-dil-1/>
- [19] Bulletin Průmyslu 4.0: *Digitální dvojče / 3D tisk* [online]. 2018/07. 2018 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.ncp40.cz/files/bulletin-prumyslu4-2018-07.pdf>
- [20] CONDE, Javier, MUNOS-ARCENTALES, Andres, ALONSO, Alvaro, LOPEZ-PERNAS, Sonsoles a SALVACHUA, Joaquin. *Modeling Digital Twin Data and Architecture: A Building Guide with FIWARE as Enabling Technology*. [Online]. IEEE. 2021. [cit.2022-03-12]. Dostupné z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9346030>
- [21] VOJÁČEK, Antonín. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 8. Principy senzorů CO2* [online]. 3.5.2020 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-8-principy-senzoru-co2.html>
- [22] VOJÁČEK, Antonín. *Kvalita vzduchu v uzavřených místnostech - 11. principy TVOC/VOC senzorů* [online]. 6.10.2020 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/kvalita-vzduchu-v-uzavrenych-mistnostech-11-principy-tvocvoc-senzoru.html>
- [23] VOJÁČEK, Antonín. *Spojité měření výška hladiny - principy měření a provedení snímačů* [online]. 31.3.2016 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/spojite-mereni-vyska-hladiny-principy-mereni-a-provedeni-snimacu.html>
- [24] JIANG, Feng, MA, Ling, BROYD, Tim a CHEN, Ke. *Digital twin and its implementations in the civil engineering sector. Automation in Construction*. [online]. ELSEVIER. 2021. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521002892>

- [25] DENG, Min, MENASSA, Carol C. a KAMAT, Vineet. *From BIM to digital twins: A systematic review of the evolution of intelligent building representations in the AEC-FM industry*. [online]. Journal of Information Technology in Construction. 2021. [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/349794746\\_From\\_BIM\\_to\\_digital\\_twins\\_A\\_systematic\\_review\\_of\\_the\\_evolution\\_of\\_intelligent\\_building\\_representations\\_in\\_the\\_AEC-FM\\_industry](https://www.researchgate.net/publication/349794746_From_BIM_to_digital_twins_A_systematic_review_of_the_evolution_of_intelligent_building_representations_in_the_AEC-FM_industry)
- [26] KAEWUNRUEN, Sakdirat, RUNGSKUNROCH, Panrawee a WELSH, Joshua. A Digital-Twin Evaluation of Net Zero Energy Building for Existing Buildings. *Sustainability* 2019, Vol. 11, Page 159, 11(1), 159. <https://doi.org/10.3390/SU11010159>
- [27] KADLEC K. *Automa : Snímače průtoku – Principy, vlastnosti a použití (část 2)*. [online PDF dokument]. Číslo 11/2006. [cit. 11.5. 2022]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/au110624.pdf>

#### Internetové zdroje - ostatní

- [28] *BIMKIT – As-built Modelling of Buildings and Infrastructure using AI to Generate Digital Twins. Digitale technologien* [online]. Berlín, 2022 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: [https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/EN/Standardartikel/AI-Innovation-Competition/Projects\\_Second-Call/AI-project\\_BIMKIT.html](https://www.digitale-technologien.de/DT/Redaktion/EN/Standardartikel/AI-Innovation-Competition/Projects_Second-Call/AI-project_BIMKIT.html)
- [29] *HUMUSOFT S.R.O. Prediktivní údržba a monitorování stavu zařízení v prostředí MATLAB* [online]. 12.7.20 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumyslovy-software/prediktivni-udrzba-a-monitorovani-stavu-zarizeni-v-prostredi-matlab\\_47536.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/prumyslovy-software/prediktivni-udrzba-a-monitorovani-stavu-zarizeni-v-prostredi-matlab_47536.html)
- [30] SHEPPARD, Scott. *What is Autodesk Forge?* [online]. 8.4.2019 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://forge.autodesk.com/blog/what-autodesk-forge>
- [31] VČELÁK, Jan. *Senzor kvality vnitřního prostředí IAQ03 & IAQ03PM*. Bušehrad: UCEEB ČVUT. [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: [https://pripoj.me/wp-content/uploads/2018/08/UCEEB\\_IAQ03\\_datasheet\\_201806\\_v06\\_cz.pdf](https://pripoj.me/wp-content/uploads/2018/08/UCEEB_IAQ03_datasheet_201806_v06_cz.pdf)
- [32] *Lessons from Project Dasher: Building a Digital Twin Using Forge*. Autodesk University [online]. Autodesk University, 2021, 29.4.2021 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://medium.com/autodesk-university/lessons-from-project-dasher-building-a-digital-twin-using-forge-fbff311cb2a3>

- [33] *Dasher 360 rozumí inteligentním budovám*. BIMinfo. [online]. [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Dasher-360-rozumi-inteligentnim-budovam.aspx>
- [34] WALMSLEY, Kean. *Autodesk Tandem is now officially available* [online]. keanw.com, 2021, 13.7.2021 [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://www.keanw.com/2021/07/autodesk-tandem-is-now-officially-available.html>
- [35] *Autodesk: Data Visualization developer`s guide*[online]. San Rafael: Autodesk [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: [https://forge.autodesk.com/en/docs/dataviz/v1/developers\\_guide/introduction/overview/](https://forge.autodesk.com/en/docs/dataviz/v1/developers_guide/introduction/overview/)
- [36] LODL, Jan. *Vyplatí se použít BIM? Spočítejte si to*. [online]. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 1.9.2021 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.koncepcbim.cz/1001-vyplati-se-pouzit-bim-spocitejte-si-to>
- [37] *EU BIM Task Group* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <http://www.eubim.eu>
- [38] MCKinsey&Company [online]. New York [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.mckinsey.com>
- [39] MANČÍK, Štěpán a Antonín LUPÍŠEK. *TiCo – prefabrikovaný stavební systém pro bytové domy z dřevěných panelů s betonovou nosnou konstrukcí* [online]. 22.7.2020 [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/hruba-stavba/20962-tico-prefabrikovany-stavebni-system-pro-bytove-domy-z-drevenych-panelu-s-betonovou-nosnou-konstrukci>
- [40] *Autodesk REVIT*. <https://www.autodesk.cz/> [Manuál programu]
- [41] *Autodesk Forge*. <https://www.forge.autodesk.com/> [Manuál programu]

## Software

Autodesk Inc., *Autodesk Revit*

Autodesk Inc., *Autodesk Platform Forge (Viewer, Hyperion)*

Autodesk Inc., *Autodesk Tandem*

Autodesk Inc., *Autodesk AutoCad*

Microsoft Visual Studio Code

CSVed 2.5.6.

TextEditor

## Přílohy

Příloha A: Modulované části zdrojového kódu digitálního dvojčete..... str. 103

Příloha B: Analýza nákladů a přínosů..... str. 165

### Příloha A - Modulované části zdrojového kódu

#### Devices.json

```
[
  {
    "deviceModelId": "d371a294-4bd5-4bdb-a3df-396dc131d44f",
    "deviceInfo": [
      {
        "id": "MaR_VOC [948679]-1",
        "name": "Obyvací pokoj 1.12",
        "position": {
          "x": "11.65120505204085",
          "y": "-19.33121868322432",
          "z": "-2.1981622725725103"
        }
      },
      {
        "id": "IAQ114",
        "name": "Koupelna 1.14",
        "position": {
          "x": "8.667164061070366",
          "y": "-13.56792373539735",
          "z": "-2.2492954640881777"
        }
      }
    ],
    {
      "id": "MaR_VOC [948680]-1",
      "name": "Loznice 1.15",
      "position": {
        "x": "11.177222919023293",
        "y": "-9.995142817592011",
        "z": "-2.1981622725725174"
      }
    }
  ]
```

```

    }
  },
  {
    "id": "MaR_VOC [948675]-1",
    "name": "Loznice 2.22",
    "position": {
      "x": "27.05784423197572",
      "y": "-9.06704304424909",
      "z": "7.644357487559326"
    }
  },
  {
    "id": "IAQ223",
    "name": "Koupelna 2.23",
    "position": {
      "x": "21.4045660602589",
      "y": "-7.19904968142508",
      "z": "7.441035581534891"
    }
  },
  {
    "id": "MaR_VOC [948676]-1",
    "name": "Obyvaci pokoj 2.25",
    "position": {
      "x": "16.209962477642662",
      "y": "-9.080061461950152",
      "z": "7.6443574875593185"
    }
  },
  "lastActivityTime": "2020-10-15T02:43:14.8786418Z"
},
{
  "id": "MaR_VOC [948673]-1",
  "name": "Obyvaci pokoj 2.32",
  "position": {
    "x": "10.837686673206477",
    "y": "-22.748199963535114",
    "z": "7.644357487559326"
  }
},
{
  "id": "IAQ233",
  "name": "Koupelna 2.33",

```



```

    "position": {
      "x": "10.459348891029485",
      "y": " -18.85347713004391",
      "z": " 7.667428700740409"
    }
  }
]
}
]

```

### Device-models.json

```

[
  {
    "deviceModelId": "d371a294-4bd5-4bdb-a3df-396dc131d44f",
    "deviceInfo": [
      {
        "id": "MaR_VOC [948679]-1",
        "name": "Obyvaci pokoj 1.12",
        "position": {
          "x": "11.65120505204085",
          "y": " -19.33121868322432",
          "z": " -2.1981622725725103"
        }
      },
      {
        "id": "IAQ114",
        "name": "Koupelna 1.14",
        "position": {
          "x": "8.667164061070366",
          "y": " -13.56792373539735",
          "z": " -2.2492954640881777"
        }
      },
      {
        "id": "MaR_VOC [948680]-1",
        "name": "Loznice 1.15",
        "position": {
          "x": "11.177222919023293",
          "y": " -9.995142817592011",
          "z": " -2.1981622725725174"
        }
      },
      {
        "id": "MaR_VOC [948675]-1",
        "name": "Loznice 2.22",

```

```

    "position": {
      "x": "27.05784423197572",
      "y": " -9.06704304424909",
      "z": " 7.644357487559326"
    }
  },
  {
    "id": "IAQ223",
    "name": "Koupelna 2.23",
    "position": {
      "x": "21.4045660602589",
      "y": " -7.19904968142508",
      "z": " 7.441035581534891"
    }
  },
  {
    "id": "MaR_VOC [948676]-1",
    "name": "Obyvaci pokoj 2.25",
    "position": {
      "x": "16.209962477642662",
      "y": " -9.080061461950152",
      "z": " 7.6443574875593185"
    }
  },
  "lastActivityTime": "2020-10-15T02:43:14.8786418Z"
},
{
  "id": "MaR_VOC [948673]-1",
  "name": "Obyvaci pokoj 2.32",
  "position": {
    "x": "10.837686673206477",
    "y": " -22.748199963535114",
    "z": " 7.644357487559326"
  }
},
{
  "id": "IAQ233",
  "name": "Koupelna 2.33",
  "position": {
    "x": "10.459348891029485",
    "y": " -18.85347713004391",
    "z": " 7.667428700740409"
  }
}
]
]

```

## config.json

```
{
  "Strategy": {
    "Temperature": {
      "0": [
        [
          [
            3.8006228483833953,
            0.10720005358501469
          ],
          [
            11.364415113375797,
            0.4289540408932636
          ],
          [
            14.026016310872615,
            0.5248028102699126
          ],
          [
            16.957715045922537,
            0.401995529109223
          ],
          [
            21.962316138793256,
            0.2886578698736969
          ]
        ],
        [
          [
            3.6888848086424275,
            0.12358617935832608
          ],
          [
            10.868027105238985,
            0.37864257071258767
          ],
          [
            13.882646931204265,
            0.4749656832273613
          ],
          [
            17.034419001499646,
            0.37097722259002947
          ],
          [
            22.193825312467396,
            0.2828345466462407
          ]
        ]
      ]
    }
  }
}
```

```
]
],
"1": [
  [
    [
      4.210381026583482,
      0.09069121848315671
    ],
    [
      10.698235280947879,
      0.8206869363848134
    ],
    [
      13.67343513757734,
      0.9874953422738696
    ],
    [
      17.423746127456745,
      0.7922165418952357
    ],
    [
      21.515856756422867,
      0.5234238232457598
    ]
  ],
  [
    [
      3.5812831907546583,
      0.08117405964682742
    ],
    [
      11.132723821306442,
      0.831720282486388
    ],
    [
      13.91825236799728,
      0.9846645533591453
    ],
    [
      16.611598205799886,
      0.7861724548300812
    ],
    [
      22.385232648244976,
      0.5078244227771819
    ]
  ]
],
```

```
"2": [
  [
    [
      4.236684722381258,
      0.07889005840779341
    ],
    [
      11.097493244123424,
      0.8104815343010798
    ],
    [
      14.225889116640765,
      0.973217632183842
    ],
    [
      16.67686090928245,
      0.8193693958159433
    ],
    [
      21.939923528970354,
      0.5224787442288243
    ]
  ],
  [
    [
      3.7662220830232456,
      0.13198383645486353
    ],
    [
      11.165063164904618,
      0.7719361078028449
    ],
    [
      14.036737387015974,
      1.0222004073472881
    ],
    [
      17.158828458600947,
      0.7727289436648659
    ],
    [
      21.63858006811527,
      0.48234017592720524
    ]
  ]
],
"3": [
  [
```

```
[
  4.331272841256853,
  0.10118067179078671
],
[
  11.198724860576398,
  0.7778738204870683
],
[
  14.380686387601308,
  0.9738843991838366
],
[
  17.151094105110108,
  0.8269512086104338
],
[
  22.39520042877451,
  0.4815455063723752
]
],
[
  [
    3.5943276632094716,
    0.11247805394784809
  ],
  [
    10.565665246160854,
    0.7783597451037404
  ],
  [
    13.62973639464131,
    0.9864248294247058
  ],
  [
    16.523875313592598,
    0.8080110176753968
  ],
  [
    21.81353145105614,
    0.49568090250406094
  ]
]
],
"4": [
  [
    4.46307641627,
```

```
0.10374052113947323
],
[
  10.941642217215476,
  0.767487979153217
],
[
  13.95941419852569,
  0.9941397081081853
],
[
  17.420285114489534,
  0.7707950009919381
],
[
  21.93271219966222,
  0.5326093567070854
]
],
[
  [
    3.9290043813044884,
    0.11702936939527789
  ],
  [
    11.164786857449052,
    0.791692836497934
  ],
  [
    14.361804511755345,
    1.0341948142509811
  ],
  [
    17.02031019035709,
    0.7932348169193968
  ],
  [
    21.68085302765488,
    0.496488967449321
  ]
]
],
"5": [
  [
    4.228653228759679,
    0.09557087521911123
  ],
],
```

```
[
  11.181262126571685,
  0.822130592589402
],
[
  14.462014192312527,
  0.9867959286206076
],
[
  16.79879037907246,
  0.7961676805434201
],
[
  22.34017625400493,
  0.47026710691784157
]
],
[
  [
    4.253386832192155,
    0.12210051477418665
  ],
  [
    10.84206493057939,
    0.8155491979557745
  ],
  [
    13.745012903855534,
    0.9911927344088396
  ],
  [
    17.422251839688485,
    0.8008786805763113
  ],
  [
    21.632378070866274,
    0.4772273074942153
  ]
]
],
"6": [
  [
    [
      3.676199065523447,
      0.06524700877452824
    ],
    [
      11.33221910279314,
```



```
0.3805457413501845
],
[
  13.66178261874306,
  0.5073102888107407
],
[
  16.79012374514684,
  0.37258392839913423
],
[
  22.02511126629849,
  0.29263264680362566
]
],
[
[
  4.122119592628953,
  0.06997891598332577
],
[
  11.306532661635426,
  0.406126823168986
],
[
  13.827628007788741,
  0.5088689750559928
],
[
  16.592145215206486,
  0.3715218523034047
],
[
  21.893674091647394,
  0.2868415757575141
]
]
]
},
"Humidity": {
  "O": [
    [
      [
        4.451164607499292,
        0.3870723296095327
      ],
      [
        13.826276893866519,
```

```
0.4222614084497094
],
[
  21.73764746340923,
  0.4460373816595336
]
],
[
[
  4.2251903292094735,
  0.3716698831955901
],
[
  14.108734149333227,
  0.44724977588360054
],
[
  21.79032801222582,
  0.4703681265846789
]
]
],
"1": [
[
[
  3.527493882193052,
  0.37518243323048733
],
[
  10.977557444468875,
  0.5743734260113256
],
[
  14.009117318518364,
  0.6669025947814301
],
[
  17.287415776499827,
  0.6352888506134398
],
[
  21.85699482254281,
  0.4390356743266968
]
]
],
[
[
  4.001105180978392,
```

```
0.4053321115932602
],
[
  10.851009339433661,
  0.5950342855434022
],
[
  13.785797157311354,
  0.6646852305703496
],
[
  16.74892651281043,
  0.656253808668811
],
[
  21.514839434570504,
  0.44741360838115646
]
]
],
"2": [
  [
    [
      4.075834377095589,
      0.40767571140882125
    ],
    [
      10.550899515153487,
      0.5740620233909015
    ],
    [
      14.382839977190036,
      0.6279159836474734
    ],
    [
      17.38824240811813,
      0.6413284624371398
    ],
    [
      21.710020304934265,
      0.46166450048137087
    ]
  ]
],
[
  [
    4.427827500853254,
    0.3842533960688956
  ]
],
```

```
[
  11.006100073806955,
  0.5793929419928726
],
[
  13.8894518855832,
  0.6373022351831116
],
[
  16.614488206714533,
  0.647575099736606
],
[
  22.29802175369187,
  0.42520463383670104
]
],
"3": [
  [
    [
      3.889838334241202,
      0.4125720293840024
    ],
    [
      10.8300991446728,
      0.5830212234801473
    ],
    [
      14.343754766042316,
      0.6549713543551804
    ],
    [
      17.401915492241837,
      0.639257785533772
    ],
    [
      22.356877924807726,
      0.42642635958253194
    ]
  ],
  [
    [
      3.870736135483568,
      0.4281496227874574
    ],
    [
      10.996943599525432,
```

```
0.600291519627245
],
[
  14.440061809765176,
  0.6273417435407397
],
[
  16.621167293379862,
  0.6740323542834544
],
[
  21.730540249826277,
  0.45611317625250086
]
]
],
"4": [
  [
    [
      4.186048366009516,
      0.37946038993641223
    ],
    [
      11.231636108941432,
      0.6228050755594844
    ],
    [
      13.808887149022564,
      0.6353392373116258
    ],
    [
      17.294692499553967,
      0.6527888674775795
    ],
    [
      22.17511693619931,
      0.45851215159982883
    ]
  ]
],
[
  [
    [
      3.628939809208676,
      0.4200876332666204
    ],
    [
      10.698279379594934,
      0.5872622506756802
    ]
  ],
],
```

```
[
  14.049516784011063,
  0.6705200721795066
],
[
  16.50809190947586,
  0.6504744908242832
],
[
  22.34433031181216,
  0.4512466307288253
]
],
"5": [
  [
    [
      4.322306341992769,
      0.38792151060695307
    ],
    [
      11.265530602589921,
      0.579836572162717
    ],
    [
      14.247441589954184,
      0.6367213403206723
    ],
    [
      17.159543028429393,
      0.6766081074975255
    ],
    [
      21.973447325797643,
      0.4322995492680411
    ]
  ],
  [
    [
      4.381564370020451,
      0.3736313633805468
    ],
    [
      11.344815302278997,
      0.6031223916261637
    ],
    [
      14.22981803540784,
```

```
0.6530732080988452
],
[
  16.78613691075173,
  0.6466652661844245
],
[
  22.48886265607129,
  0.4694635934026017
]
]
],
"6": [
  [
    [
      4.256691208416912,
      0.3854633731094002
    ],
    [
      14.457546219886018,
      0.4371588848827784
    ],
    [
      21.717135756258212,
      0.42977984174354145
    ]
  ],
  [
    [
      4.255749677354181,
      0.4103850714265758
    ],
    [
      13.901095029367953,
      0.4546128260586539
    ],
    [
      21.898247169315198,
      0.4641506156556945
    ]
  ]
]
},
"CO2": {
  "O": [
    [
      2.329634908779454,
```

```
0.3255768917713339
],
[
  9.502310019777692,
  0.354385468394408
],
[
  17.377125760514165,
  0.4260442562987193
],
[
  21.827441534766997,
  0.3133340399186174
]
],
[
  [
    2.188828933362579,
    0.334505926473372
  ],
  [
    10.056491641519717,
    0.32170513195908745
  ],
  [
    17.070966617371717,
    0.3934761988413888
  ],
  [
    21.67195011385274,
    0.2751036118819429
  ]
]
],
"1": [
  [
    2.3837466058052192,
    0.27781004450476915
  ],
  [
    10.184300622156547,
    0.5939869110230063
  ],
  [
    14.384973070273825,
    0.7912377725027809
  ],
],
```



```
[
  17.436991893979187,
  0.6238332133208176
],
[
  21.694050531142253,
  0.29908782963182423
]
],
[
  [
    1.9343474254844553,
    0.27749033762588876
  ],
  [
    9.64683096710618,
    0.6176883359714896
  ],
  [
    13.608967968210955,
    0.8293132482259737
  ],
  [
    17.164867965241918,
    0.6235068470000757
  ],
  [
    22.001932818992618,
    0.2962152953554773
  ]
]
],
"2": [
  [
    2.3158467477787483,
    0.32013768803130255
  ],
  [
    9.627764573210532,
    0.6245520496967113
  ],
  [
    13.702918620975025,
    0.8058833592975386
  ],
  [
    16.811531583295103,
```

```
0.6121155582879755
],
[
  21.57841434734326,
  0.2704773251749408
]
],
[
[
  2.344974550190516,
  0.32636347286977613
],
[
  9.558983782965685,
  0.5987676920148283
],
[
  13.519785771239246,
  0.7924349078967645
],
[
  17.27702367945659,
  0.611010217083023
],
[
  21.55662412810044,
  0.3073488577073028
]
]
],
"3": [
[
[
  1.611323172720878,
  0.29895265414998934
],
[
  10.09260157780424,
  0.6267446810244655
],
[
  13.68769333180472,
  0.7681468933579912
],
[
  17.253442458243562,
  0.6231218970110353
],
],
```

```
[
  21.804211346257883,
  0.3145782684503808
],
[
  2.17565821258101,
  0.29209598847411955
],
[
  9.958447031092245,
  0.6245804285121408
],
[
  14.27054296456672,
  0.7707776000131187
],
[
  16.548745567464778,
  0.6151265827387599
],
[
  21.707917457744166,
  0.3035773309173562
]
],
"4": [
  [
    1.9183554963269986,
    0.31218662481406706
  ],
  [
    10.252094756185166,
    0.6293811503238783
  ],
  [
    13.912991126547132,
    0.800097537414391
  ],
  [
    16.892864507087218,
    0.5921580918460781
  ],
  [
    22.000860685187558,
```

```
    0.2919704101172203
  ],
  [
    [
      1.6250298642878533,
      0.32197481000851463
    ],
    [
      9.625096151236233,
      0.5912185846199056
    ],
    [
      13.75497380519316,
      0.813501383933672
    ],
    [
      17.077709372149194,
      0.6277714617739195
    ],
    [
      21.941880373263682,
      0.2900143608256458
    ]
  ]
],
"5": [
  [
    [
      2.1152725798932472,
      0.32399791992064414
    ],
    [
      9.779622998886936,
      0.6237576849124445
    ],
    [
      14.353964068917497,
      0.7888822651876048
    ],
    [
      16.655144403081415,
      0.5776431351551505
    ],
    [
      21.564423140359622,
      0.2765307719487287
    ]
  ]
]
```

```
],
[
  [
    1.9599952151714546,
    0.2769388991222776
  ],
  [
    10.180032030366052,
    0.5863028385575233
  ],
  [
    13.881868631248642,
    0.766290254141159
  ],
  [
    16.55487483172127,
    0.5716978280234911
  ],
  [
    22.271800024727085,
    0.3073815555597419
  ]
]
],
"6": [
  [
    [
      2.2659066001584236,
      0.299854438659613
    ],
    [
      10.3808034327954,
      0.31490059045394375
    ],
    [
      16.5325245470658,
      0.3760083335004469
    ],
    [
      21.765408523627894,
      0.3220968427955046
    ]
  ]
],
[
  [
    2.075527452848103,
    0.3320170028801304
  ],
],
```

```
[
  [
    9.714232973845972,
    0.3607124592753666
  ],
  [
    17.183639506349852,
    0.37194883832866893
  ],
  [
    22.34944634573432,
    0.28906296067488674
  ]
]
},
"VOCekvCO2": {
  "O": [
    [
      [
        2.329634908779454,
        0.3255768917713339
      ],
      [
        9.502310019777692,
        0.354385468394408
      ],
      [
        17.377125760514165,
        0.4260442562987193
      ],
      [
        21.827441534766997,
        0.3133340399186174
      ]
    ],
    [
      [
        2.188828933362579,
        0.334505926473372
      ],
      [
        10.056491641519717,
        0.32170513195908745
      ],
      [
        17.070966617371717,
        0.3934761988413888
      ]
    ],
  ],
}
```

```
[
  21.67195011385274,
  0.2751036118819429
]
],
"1": [
  [
    [
      2.3837466058052192,
      0.27781004450476915
    ],
    [
      10.184300622156547,
      0.5939869110230063
    ],
    [
      14.384973070273825,
      0.7912377725027809
    ],
    [
      17.436991893979187,
      0.6238332133208176
    ],
    [
      21.694050531142253,
      0.29908782963182423
    ]
  ],
  [
    [
      1.9343474254844553,
      0.27749033762588876
    ],
    [
      9.64683096710618,
      0.6176883359714896
    ],
    [
      13.608967968210955,
      0.8293132482259737
    ],
    [
      17.164867965241918,
      0.6235068470000757
    ],
    [
      22.001932818992618,
```

```
    0.2962152953554773
  ]
]
],
"2": [
  [
    [
      2.3158467477787483,
      0.32013768803130255
    ],
    [
      9.627764573210532,
      0.6245520496967113
    ],
    [
      13.702918620975025,
      0.8058833592975386
    ],
    [
      16.811531583295103,
      0.6121155582879755
    ],
    [
      21.57841434734326,
      0.2704773251749408
    ]
  ],
  [
    [
      2.344974550190516,
      0.32636347286977613
    ],
    [
      9.558983782965685,
      0.5987676920148283
    ],
    [
      13.519785771239246,
      0.7924349078967645
    ],
    [
      17.27702367945659,
      0.611010217083023
    ],
    [
      21.55662412810044,
      0.3073488577073028
    ]
  ]
]
```



```
]
],
"3": [
  [
    [
      1.611323172720878,
      0.29895265414998934
    ],
    [
      10.09260157780424,
      0.6267446810244655
    ],
    [
      13.68769333180472,
      0.7681468933579912
    ],
    [
      17.253442458243562,
      0.6231218970110353
    ],
    [
      21.804211346257883,
      0.3145782684503808
    ]
  ],
  [
    [
      2.17565821258101,
      0.29209598847411955
    ],
    [
      9.958447031092245,
      0.6245804285121408
    ],
    [
      14.27054296456672,
      0.7707776000131187
    ],
    [
      16.548745567464778,
      0.6151265827387599
    ],
    [
      21.707917457744166,
      0.3035773309173562
    ]
  ]
],
```

```
"4": [
  [
    [
      1.9183554963269986,
      0.31218662481406706
    ],
    [
      10.252094756185166,
      0.6293811503238783
    ],
    [
      13.912991126547132,
      0.800097537414391
    ],
    [
      16.892864507087218,
      0.5921580918460781
    ],
    [
      22.000860685187558,
      0.2919704101172203
    ]
  ],
  [
    [
      1.6250298642878533,
      0.32197481000851463
    ],
    [
      9.625096151236233,
      0.5912185846199056
    ],
    [
      13.75497380519316,
      0.813501383933672
    ],
    [
      17.077709372149194,
      0.6277714617739195
    ],
    [
      21.941880373263682,
      0.2900143608256458
    ]
  ]
],
"5": [
  [
```

```
[
  2.1152725798932472,
  0.32399791992064414
],
[
  9.779622998886936,
  0.6237576849124445
],
[
  14.353964068917497,
  0.7888822651876048
],
[
  16.655144403081415,
  0.5776431351551505
],
[
  21.564423140359622,
  0.2765307719487287
]
],
[
  [
    1.9599952151714546,
    0.2769388991222776
  ],
  [
    10.180032030366052,
    0.5863028385575233
  ],
  [
    13.881868631248642,
    0.766290254141159
  ],
  [
    16.55487483172127,
    0.5716978280234911
  ],
  [
    22.271800024727085,
    0.3073815555597419
  ]
]
],
"6": [
  [
    2.2659066001584236,
```

```

    0.299854438659613
  ],
  [
    10.3808034327954,
    0.31490059045394375
  ],
  [
    16.5325245470658,
    0.3760083335004469
  ],
  [
    21.765408523627894,
    0.3220968427955046
  ]
],
[
  [
    2.075527452848103,
    0.3320170028801304
  ],
  [
    9.714232973845972,
    0.3607124592753666
  ],
  [
    17.183639506349852,
    0.37194883832866893
  ],
  [
    22.34944634573432,
    0.28906296067488674
  ]
]
]
}
},
"Range": {
  "Temperature": {
    "min": 17,
    "max": 28
  },
  "Humidity": {
    "min": 5,
    "max": 70
  },
  "CO2": {
    "min": 400,
    "max": 700
  }
}

```

```

    },
    "VOCekvCO2": {
        "min": 400,
        "max": 700
    }
}
}
}

```

### Soubor pro modulaci uživatelského prostředí .env

```

FORGE__CLIENT__ID=Osobní údaj o účtu Forge
FORGE__CLIENT__SECRET= Osobní údaj o účtu Forge
FORGE__ENV=AutodeskProduction
FORGE__API__URL=https://developer.api.autodesk.com
FORGE__CALLBACK__URL=http://localhost:9000/oauth/callback

```

```

FORGE__BUCKET=unikátní bucket klíč
ENV=local
ADAPTER__TYPE=local

```

## Please uncomment the following part if you want to connect to Azure IoT Hub and Time Series Insights

## Connect to Azure IoT Hub and Time Series Insights

```

# ADAPTER__TYPE=azure
# AZURE__IOT__HUB__CONNECTION__STRING=
# AZURE__TSI__ENV=
#

```

## Azure Service Principle

```

# AZURE__CLIENT__ID=
# AZURE__APPLICATION__SECRET=
# AZURE__TENANT__ID=
# AZURE__SUBSCRIPTION__ID=
#

```

## Path to Device Model configuration File

```

# DEVICE__MODEL__JSON=
## End - Connect to Azure IoT Hub and Time Series Insights

```

## Please uncomment the following part if you want to use a CSV file as the time series provider

```

ADAPTER__TYPE=csv
CSV__MODEL__JSON=server\gateways\synthetic-data\device-models.json
CSV__DEVICE__JSON=server\gateways\synthetic-data\devices.json
CSV__FOLDER=server\gateways\csv\
CSV__DATA__START=2022-04-21T00:00:00.000Z #Format: YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.000Z
CSV__DATA__END=2022-04-21T23:59:00.000Z #Format: YYYY-MM-DDTHH:MM:SS.000Z

```

```
CSV__DELIMITER=";"
CSV__LINE__BREAK="\n"
CSV__TIMESTAMP__COLUMN="time"
CSV__FILE__EXTENSION=".csv"
## End - Please uncomment the following part if you want to use a CSV file as
the time series provider
```

```
#urn:adsk.objects:os.object:filipchrasttico2022.cvutcz/Testovaci__model__spoj
eny.rvt
FORGE__DOC__URN=urn:dXJuOmFkc2sub2JqZWNOczpvcy5vYmpIY3Q6ZmlsaXBj
aHJhc3R0aWNvMjAyMi5jdnVOY3ovVGvzdG92YWNpX21vZGVsX3Nwb2plbnkucn
ZO
```

```
BIM__LOGIN=false
```

#### **Ukázkový datový soubor CSV - IAQ114**

```
time;Temperature;Humidity;CO2;VOCekvCO2
2022-04-21T00:00:00.000Z;20.266;52.897;642.844;639.768
2022-04-21T00:01:00.000Z;20.266;52.242;530.064;657.579
2022-04-21T00:02:00.000Z;20.149;51.931;740.924;648.18
2022-04-21T00:03:00.000Z;20.178;52.317;335.505;655.484
2022-04-21T00:04:00.000Z;20.207;52.464;603.519;648.257
2022-04-21T00:05:00.000Z;19.799;48.426;501.763;646.688
2022-04-21T00:06:00.000Z;20.052;50.961;600.657;662.127
2022-04-21T00:07:00.000Z;20.092;50.857;560.927;661.102
2022-04-21T00:08:00.000Z;20.405;53.997;524.302;647.609
2022-04-21T00:09:00.000Z;20.178;51.803;713.624;664.693
2022-04-21T00:10:00.000Z;20.335;54.24;642.376;646.358
2022-04-21T00:11:00.000Z;20.023;50.802;361.867;649.072
2022-04-21T00:12:00.000Z;20.165;52.074;618.084;641.876
2022-04-21T00:13:00.000Z;20.191;51.273;627.299;649.841
2022-04-21T00:14:00.000Z;19.967;49.603;659.793;657.431
2022-04-21T00:15:00.000Z;20.191;51.038;520.175;661.64
2022-04-21T00:16:00.000Z;19.98;50.137;731.843;665.143
2022-04-21T00:17:00.000Z;19.898;50.622;605.272;664.317
2022-04-21T00:18:00.000Z;20.362;52.912;548.385;646.054
2022-04-21T00:19:00.000Z;20.362;52.212;499.998;619.032
2022-04-21T00:20:00.000Z;20.362;52.212;532.963;589.347
2022-04-21T00:21:00.000Z;20.306;51.965;733.769;571.086
2022-04-21T00:22:00.000Z;20.306;50.842;515.632;570.382
2022-04-21T00:23:00.000Z;20.49;51.859;488.765;562.128
2022-04-21T00:24:00.000Z;20.53;52.938;510.338;549.372
```

2022-04-21T00:25:00.000Z;20.362;51.406;479.243;546.17  
2022-04-21T00:26:00.000Z;20.546;52.381;506.677;544.997  
2022-04-21T00:27:00.000Z;20.53;52.148;563.593;551.794  
2022-04-21T00:28:00.000Z;20.616;52.284;522.148;546.87  
2022-04-21T00:29:00.000Z;20.448;51.264;680.844;551.825  
2022-04-21T00:30:00.000Z;20.448;50.967;661.807;554.199  
2022-04-21T00:31:00.000Z;20.504;51.437;484.064;561.145  
2022-04-21T00:32:00.000Z;20.672;52.683;422.747;562.132  
2022-04-21T00:33:00.000Z;20.573;52.66;306.456;551.832  
2022-04-21T00:34:00.000Z;20.586;51.963;557.469;549.839  
2022-04-21T00:35:00.000Z;20.728;53.677;591.345;550.543  
2022-04-21T00:36:00.000Z;20.616;51.264;366.25;554.17  
2022-04-21T00:37:00.000Z;20.53;51.003;505.137;549.976  
2022-04-21T00:38:00.000Z;20.517;50.211;535.516;541.565  
2022-04-21T00:39:00.000Z;20.49;51.351;432.368;545.982  
2022-04-21T00:40:00.000Z;20.603;52.445;549.142;537.783  
2022-04-21T00:41:00.000Z;20.349;49.644;431.26;526.677  
2022-04-21T00:42:00.000Z;20.461;49.163;534.842;539.215  
2022-04-21T00:43:00.000Z;20.405;51.02;497.009;528.669  
2022-04-21T00:44:00.000Z;20.378;50.192;518.022;507.043  
2022-04-21T00:45:00.000Z;20.56;51.232;412.297;514.709  
2022-04-21T00:46:00.000Z;20.53;51.359;446.638;508.48  
2022-04-21T00:47:00.000Z;20.603;51.899;303.259;508.325  
2022-04-21T00:48:00.000Z;20.49;51.305;626.009;504.076  
2022-04-21T00:49:00.000Z;20.53;51.18;466.862;501.889  
2022-04-21T00:50:00.000Z;20.418;49.758;599.136;511.819  
2022-04-21T00:51:00.000Z;20.247;49.017;528.972;503.917  
2022-04-21T00:52:00.000Z;20.474;51.208;485.9;500  
2022-04-21T00:53:00.000Z;20.474;51.386;554.183;507.274  
2022-04-21T00:54:00.000Z;20.586;52.047;474.555;502.354  
2022-04-21T00:55:00.000Z;20.643;52.407;467.811;517.277  
2022-04-21T00:56:00.000Z;20.643;51.42;521.427;513.75  
2022-04-21T00:57:00.000Z;20.56;51.937;525.412;511.91  
2022-04-21T00:58:00.000Z;20.49;51.482;564.859;514.164  
2022-04-21T00:59:00.000Z;20.53;51.878;555.439;501.036  
2022-04-21T01:00:00.000Z;20.504;51.286;524.86;512.185  
2022-04-21T01:01:00.000Z;20.517;51.557;499.564;504.052  
2022-04-21T01:02:00.000Z;20.504;50.23;386.347;515.865  
2022-04-21T01:03:00.000Z;20.448;50.967;214.99;497.44  
2022-04-21T01:04:00.000Z;20.603;52.316;457.3;513.221  
2022-04-21T01:05:00.000Z;20.434;50.742;364.806;525.071  
2022-04-21T01:06:00.000Z;20.504;51.566;541.621;517.426  
2022-04-21T01:07:00.000Z;20.56;50.983;533.129;528.379  
2022-04-21T01:08:00.000Z;20.53;51.511;462.047;533.888  
2022-04-21T01:09:00.000Z;20.335;51.164;797.415;533.235  
2022-04-21T01:10:00.000Z;20.335;49.818;505.099;533.649  
2022-04-21T01:11:00.000Z;20.448;51.534;601.528;531.373  
2022-04-21T01:12:00.000Z;20.362;50.518;657.759;521.761

2022-04-21T01:13:00.000Z;20.517;51.8;584.22;526.28  
2022-04-21T01:14:00.000Z;20.335;52.065;468.537;526.776  
2022-04-21T01:15:00.000Z;20.461;51.301;467.252;520.065  
2022-04-21T01:16:00.000Z;20.378;51.135;687.156;536.375  
2022-04-21T01:17:00.000Z;20.392;50.452;576.593;535.022  
2022-04-21T01:18:00.000Z;20.178;49.395;412.845;524.589  
2022-04-21T01:19:00.000Z;20.362;50.6;515.659;536.651  
2022-04-21T01:20:00.000Z;20.546;51.667;447.823;524.799  
2022-04-21T01:21:00.000Z;20.279;49.74;473.773;528.795  
2022-04-21T01:22:00.000Z;20.461;51.562;532.659;535.053  
2022-04-21T01:23:00.000Z;20.418;50.636;573.805;522.279  
2022-04-21T01:24:00.000Z;20.586;51.388;412.081;525.35  
2022-04-21T01:25:00.000Z;20.546;51.148;399.042;511.5  
2022-04-21T01:26:00.000Z;20.474;51.446;514.324;520.645  
2022-04-21T01:27:00.000Z;20.546;51.608;494.867;531.191  
2022-04-21T01:28:00.000Z;20.322;49.758;463.125;503.042  
2022-04-21T01:29:00.000Z;20.362;49.41;419.474;526.86  
2022-04-21T01:30:00.000Z;20.293;48.928;497.372;520.111  
2022-04-21T01:31:00.000Z;20.322;50.005;556.257;510.411  
2022-04-21T01:32:00.000Z;20.322;49.204;585.147;515.205  
2022-04-21T01:33:00.000Z;20.165;49.23;650.532;518.767  
2022-04-21T01:34:00.000Z;20.221;47.962;774.905;502.181  
2022-04-21T01:35:00.000Z;20.392;50.523;518.449;500  
2022-04-21T01:36:00.000Z;20.517;50.056;559.709;516.719  
2022-04-21T01:37:00.000Z;20.293;48.681;515.966;501.289  
2022-04-21T01:38:00.000Z;20.504;51.226;400.187;521.502  
2022-04-21T01:39:00.000Z;20.573;50.347;527.299;519.516  
2022-04-21T01:40:00.000Z;20.293;48.869;320.83;515.479  
2022-04-21T01:41:00.000Z;20.616;50.993;510.32;528.083  
2022-04-21T01:42:00.000Z;20.362;49.456;443.497;516.241  
2022-04-21T01:43:00.000Z;20.335;48.296;329.529;508.99  
2022-04-21T01:44:00.000Z;20.378;49.813;541.775;520.439  
2022-04-21T01:45:00.000Z;20.461;50.961;528.539;504.964  
2022-04-21T01:46:00.000Z;20.418;48.142;511.151;517.098  
2022-04-21T01:47:00.000Z;20.586;50.658;464.547;508.582  
2022-04-21T01:48:00.000Z;20.349;49.963;578.271;511.432  
2022-04-21T01:49:00.000Z;20.362;49.445;446.602;500  
2022-04-21T01:50:00.000Z;20.362;48.997;485.153;506.401  
2022-04-21T01:51:00.000Z;20.405;48.814;622.309;502.978  
2022-04-21T01:52:00.000Z;20.603;50.719;484.389;511.383  
2022-04-21T01:53:00.000Z;20.266;47.401;382.659;515.694  
2022-04-21T01:54:00.000Z;20.448;50.626;526.293;504.639  
2022-04-21T01:55:00.000Z;20.461;49.41;501.713;505.496  
2022-04-21T01:56:00.000Z;20.349;48.653;453.983;507.422  
2022-04-21T01:57:00.000Z;20.405;49.474;504.038;517.144  
2022-04-21T01:58:00.000Z;20.53;50.33;484.712;514.866  
2022-04-21T01:59:00.000Z;20.56;50.394;338.715;521.469  
2022-04-21T02:00:00.000Z;20.448;50.118;460.252;523.701



2022-04-21T02:01:00.000Z;20.178;48.641;556.56;515.789  
2022-04-21T02:02:00.000Z;20.293;48.727;263.258;522.257  
2022-04-21T02:03:00.000Z;20.405;49.4;462.274;527.239  
2022-04-21T02:04:00.000Z;20.109;47.665;719.726;530.505  
2022-04-21T02:05:00.000Z;20.378;50.297;509.649;528.926  
2022-04-21T02:06:00.000Z;20.349;48.653;419.663;520.512  
2022-04-21T02:07:00.000Z;20.448;50.388;519.55;533.337  
2022-04-21T02:08:00.000Z;20.405;49.18;523.533;518.641  
2022-04-21T02:09:00.000Z;20.378;50.169;558.855;513.863  
2022-04-21T02:10:00.000Z;20.405;50.784;612.568;504.712  
2022-04-21T02:11:00.000Z;20.322;49.628;428.133;508.122  
2022-04-21T02:12:00.000Z;20.279;49.538;489.708;500  
2022-04-21T02:13:00.000Z;20.306;49.12;574.373;514.93  
2022-04-21T02:14:00.000Z;20.279;48.338;377.596;505.223  
2022-04-21T02:15:00.000Z;20.322;49.154;346.605;503.385  
2022-04-21T02:16:00.000Z;20.266;49.574;579.45;512.933  
2022-04-21T02:17:00.000Z;20.306;48.882;345.34;510.269  
2022-04-21T02:18:00.000Z;20.109;48.064;594.114;514.66  
2022-04-21T02:19:00.000Z;20.306;49.368;405.281;501.448  
2022-04-21T02:20:00.000Z;20.322;49.31;393.234;503.253  
2022-04-21T02:21:00.000Z;20.362;50.555;471.07;504.969  
2022-04-21T02:22:00.000Z;20.266;48.026;396.095;507.865  
2022-04-21T02:23:00.000Z;20.293;49.317;473.004;514.235  
2022-04-21T02:24:00.000Z;20.378;49.932;535.295;513.604  
2022-04-21T02:25:00.000Z;20.378;49.198;595.337;507.023  
2022-04-21T02:26:00.000Z;20.362;50.472;372.663;508.401  
2022-04-21T02:27:00.000Z;20.362;49.848;458.469;504.121  
2022-04-21T02:28:00.000Z;20.362;49.61;609.674;518.883  
2022-04-21T02:29:00.000Z;20.135;47.999;312.001;520.209  
2022-04-21T02:30:00.000Z;20.293;49.01;415.029;511.069  
2022-04-21T02:31:00.000Z;20.573;51.295;572.059;515.021  
2022-04-21T02:32:00.000Z;20.306;49.061;602.104;504.836  
2022-04-21T02:33:00.000Z;20.362;49.693;522.375;512.628  
2022-04-21T02:34:00.000Z;20.234;48.283;536.306;500  
2022-04-21T02:35:00.000Z;20.349;48.769;488.047;512.351  
2022-04-21T02:36:00.000Z;20.306;49.047;486.226;507.156  
2022-04-21T02:37:00.000Z;20.434;48.71;514.109;517.439  
2022-04-21T02:38:00.000Z;20.266;48.946;434.573;497.684  
2022-04-21T02:39:00.000Z;20.461;49.493;605.51;500  
2022-04-21T02:40:00.000Z;20.335;49.181;356.364;501.836  
2022-04-21T02:41:00.000Z;20.392;48.704;573.148;506.251  
2022-04-21T02:42:00.000Z;20.461;50.06;444.269;511.952  
2022-04-21T02:43:00.000Z;20.362;48.348;453.493;513.219  
2022-04-21T02:44:00.000Z;20.616;51.264;503.824;504.453  
2022-04-21T02:45:00.000Z;20.405;49.557;402.614;502.781  
2022-04-21T02:46:00.000Z;20.474;50.205;582.645;503.56  
2022-04-21T02:47:00.000Z;20.448;49.786;358.376;500.571  
2022-04-21T02:48:00.000Z;20.362;50.188;420.028;510.732

2022-04-21T02:49:00.000Z;20.405;49.026;473.804;506.461  
2022-04-21T02:50:00.000Z;20.293;49.236;526.286;505.58  
2022-04-21T02:51:00.000Z;20.49;50.184;415.334;506.516  
2022-04-21T02:52:00.000Z;20.418;50.173;463.568;506.605  
2022-04-21T02:53:00.000Z;20.56;50.347;407.338;512.61  
2022-04-21T02:54:00.000Z;20.293;48.869;590.714;505.27  
2022-04-21T02:55:00.000Z;20.573;50.925;494.863;510.951  
2022-04-21T02:56:00.000Z;20.474;49.424;502.936;518.426  
2022-04-21T02:57:00.000Z;20.378;50.072;494.646;521.96  
2022-04-21T02:58:00.000Z;20.418;49.619;570.225;514.306  
2022-04-21T02:59:00.000Z;20.418;51.022;593.694;514.452  
2022-04-21T03:00:00.000Z;20.49;51.269;515.106;514.873  
2022-04-21T03:01:00.000Z;20.405;49.804;483.099;533.308  
2022-04-21T03:02:00.000Z;20.392;49.78;450.375;536.516  
2022-04-21T03:03:00.000Z;20.247;49.29;441.167;525.366  
2022-04-21T03:04:00.000Z;20.461;50.91;529.458;532.644  
2022-04-21T03:05:00.000Z;20.546;51.514;453.376;540.965  
2022-04-21T03:06:00.000Z;20.392;50.736;437.159;531.78  
2022-04-21T03:07:00.000Z;20.293;49.035;672.35;535.542  
2022-04-21T03:08:00.000Z;20.306;50.578;533.565;534.885  
2022-04-21T03:09:00.000Z;20.405;50.962;484.817;537.792  
2022-04-21T03:10:00.000Z;20.293;49.044;393.494;528.45  
2022-04-21T03:11:00.000Z;20.322;50.585;545.333;526.922  
2022-04-21T03:12:00.000Z;20.306;50.018;425.676;532.272  
2022-04-21T03:13:00.000Z;20.335;50.764;638.188;537.889  
2022-04-21T03:14:00.000Z;20.418;51.388;516.377;532.349  
2022-04-21T03:15:00.000Z;20.378;50.603;390.45;541.036  
2022-04-21T03:16:00.000Z;20.434;51.121;501.336;552.173  
2022-04-21T03:17:00.000Z;20.461;51.736;544.981;545.001  
2022-04-21T03:18:00.000Z;20.335;50.233;366.663;538.361  
2022-04-21T03:19:00.000Z;20.474;50.582;341.736;557.354  
2022-04-21T03:20:00.000Z;20.335;50.184;389.876;550.917  
2022-04-21T03:21:00.000Z;20.362;50.413;376.174;554.217  
2022-04-21T03:22:00.000Z;20.279;49.456;546.411;546.575  
2022-04-21T03:23:00.000Z;20.293;50.462;498.305;549.148  
2022-04-21T03:24:00.000Z;20.405;51.575;558.568;560.939  
2022-04-21T03:25:00.000Z;20.279;49.822;367.491;553.785  
2022-04-21T03:26:00.000Z;20.362;50.59;446.278;552.055  
2022-04-21T03:27:00.000Z;20.247;49.854;509.503;541.452  
2022-04-21T03:28:00.000Z;20.378;50.971;621.262;556.167  
2022-04-21T03:29:00.000Z;20.247;49.57;430.361;553.488  
2022-04-21T03:30:00.000Z;20.378;51.313;441.386;552.496  
2022-04-21T03:31:00.000Z;20.306;50.938;481.085;558.973  
2022-04-21T03:32:00.000Z;20.306;50.759;526.765;543.431  
2022-04-21T03:33:00.000Z;20.279;50.697;297.502;554.068  
2022-04-21T03:34:00.000Z;20.293;51.31;671.288;549.407  
2022-04-21T03:35:00.000Z;20.247;49.653;437.675;548.533  
2022-04-21T03:36:00.000Z;20.247;49.477;539.751;558.361

2022-04-21T03:37:00.000Z;20.349;49.854;467.638;531.92  
2022-04-21T03:38:00.000Z;20.234;50.077;555.048;524.744  
2022-04-21T03:39:00.000Z;20.335;50.031;540.959;516.299  
2022-04-21T03:40:00.000Z;20.279;49.021;622.708;511.994  
2022-04-21T03:41:00.000Z;20.335;49.313;512.57;501.317  
2022-04-21T03:42:00.000Z;20.306;49.12;553.539;502.732  
2022-04-21T03:43:00.000Z;20.392;50.051;509.577;505.606  
2022-04-21T03:44:00.000Z;20.461;49.78;495.575;500.19  
2022-04-21T03:45:00.000Z;20.378;49.34;554.648;511.098  
2022-04-21T03:46:00.000Z;20.362;49.053;521.44;511.1  
2022-04-21T03:47:00.000Z;20.362;48.701;343.436;509.873  
2022-04-21T03:48:00.000Z;20.335;47.895;207.921;507.497  
2022-04-21T03:49:00.000Z;20.418;49.358;698.517;506.771  
2022-04-21T03:50:00.000Z;20.279;47.39;691.948;510.934  
2022-04-21T03:51:00.000Z;20.279;47.321;626.231;521.086  
2022-04-21T03:52:00.000Z;20.448;48.925;403.242;513.593  
2022-04-21T03:53:00.000Z;20.322;47.692;158.025;528.853  
2022-04-21T03:54:00.000Z;20.279;46.79;450.188;530.529  
2022-04-21T03:55:00.000Z;20.392;48.53;501.857;516.646  
2022-04-21T03:56:00.000Z;20.56;48.786;484.458;524.117  
2022-04-21T03:57:00.000Z;20.293;47.889;578.84;524.024  
2022-04-21T03:58:00.000Z;20.448;48.631;515.006;523.098  
2022-04-21T03:59:00.000Z;20.405;47.408;444.018;526.754  
2022-04-21T04:00:00.000Z;20.405;48.399;624.011;522.886  
2022-04-21T04:01:00.000Z;20.221;46.699;568.437;524.56  
2022-04-21T04:02:00.000Z;20.349;48.191;404.282;522.171  
2022-04-21T04:03:00.000Z;20.191;46.79;389.048;528.627  
2022-04-21T04:04:00.000Z;20.448;48.997;496.436;533.39  
2022-04-21T04:05:00.000Z;20.474;48.481;410.781;535.5  
2022-04-21T04:06:00.000Z;20.306;47.689;588.522;544.875  
2022-04-21T04:07:00.000Z;20.335;47.694;239.657;553.931  
2022-04-21T04:08:00.000Z;20.573;49.273;734.204;560.447  
2022-04-21T04:09:00.000Z;20.362;49.126;409.343;558.249  
2022-04-21T04:10:00.000Z;20.149;47.282;658.593;575.296  
2022-04-21T04:11:00.000Z;20.191;47.784;603.506;561.731  
2022-04-21T04:12:00.000Z;20.474;49.354;516.762;559.721  
2022-04-21T04:13:00.000Z;20.448;48.737;407.941;578.976  
2022-04-21T04:14:00.000Z;20.603;50.26;428.976;571.047  
2022-04-21T04:15:00.000Z;20.293;48.74;361.801;573.73  
2022-04-21T04:16:00.000Z;20.322;47.857;544.615;573.726  
2022-04-21T04:17:00.000Z;20.378;48.269;821.538;583.34  
2022-04-21T04:18:00.000Z;20.392;48.859;454.301;574.507  
2022-04-21T04:19:00.000Z;20.434;50.059;541.027;581.484  
2022-04-21T04:20:00.000Z;20.234;47.445;373.177;578.05  
2022-04-21T04:21:00.000Z;20.49;49.287;523.257;580.685  
2022-04-21T04:22:00.000Z;20.392;48.612;556.344;571.828  
2022-04-21T04:23:00.000Z;20.392;48.905;352.615;569.26  
2022-04-21T04:24:00.000Z;20.461;49.671;466.68;586.608

2022-04-21T04:25:00.000Z;20.362;49.303;469.657;582.992  
2022-04-21T04:26:00.000Z;20.221;47.88;408.939;579.852  
2022-04-21T04:27:00.000Z;20.234;49.001;468.096;577.158  
2022-04-21T04:28:00.000Z;20.517;49.987;710.326;586.783  
2022-04-21T04:29:00.000Z;20.418;49.523;547.304;585.972  
2022-04-21T04:30:00.000Z;20.362;48.786;584.726;585.388  
2022-04-21T04:31:00.000Z;20.362;48.077;420.689;589.026  
2022-04-21T04:32:00.000Z;20.378;49.294;458.245;585.97  
2022-04-21T04:33:00.000Z;20.207;48.55;428.521;570.528  
2022-04-21T04:34:00.000Z;20.109;47.167;467.875;583.276  
2022-04-21T04:35:00.000Z;20.392;48.975;473.716;588.344  
2022-04-21T04:36:00.000Z;20.474;48.54;484.985;597.484  
2022-04-21T04:37:00.000Z;20.122;47.584;491.838;591.654  
2022-04-21T04:38:00.000Z;20.234;47.694;331.145;588.257  
2022-04-21T04:39:00.000Z;20.448;49.209;531.122;597.743  
2022-04-21T04:40:00.000Z;20.392;47.715;587.303;591.8  
2022-04-21T04:41:00.000Z;20.079;47.509;419.409;591.178  
2022-04-21T04:42:00.000Z;20.474;48.93;493.75;600.683  
2022-04-21T04:43:00.000Z;20.418;48.119;391.773;591.207  
2022-04-21T04:44:00.000Z;20.247;47.79;449.444;586.829  
2022-04-21T04:45:00.000Z;20.49;48.708;560.667;589.475  
2022-04-21T04:46:00.000Z;20.378;48.728;551.349;578.654  
2022-04-21T04:47:00.000Z;20.335;47.871;532.135;581.473  
2022-04-21T04:48:00.000Z;20.517;48.475;558.803;582.737  
2022-04-21T04:49:00.000Z;20.306;48.164;525.375;579.644  
2022-04-21T04:50:00.000Z;20.392;48.859;582.498;578.429  
2022-04-21T04:51:00.000Z;20.418;48.696;486.51;568.832  
2022-04-21T04:52:00.000Z;20.362;47.662;528.59;579.379  
2022-04-21T04:53:00.000Z;20.418;47.504;527.702;580.844  
2022-04-21T04:54:00.000Z;20.504;48.873;446.784;586.389  
2022-04-21T04:55:00.000Z;20.474;48.22;497.536;695.516  
2022-04-21T04:56:00.000Z;21.15;53.414;834.983;1223.511  
2022-04-21T04:57:00.000Z;21.235;53.228;704.588;1504.718  
2022-04-21T04:58:00.000Z;21.262;53.658;1113.328;1739.017  
2022-04-21T04:59:00.000Z;21.235;53.359;897.477;1891.016  
2022-04-21T05:00:00.000Z;21.166;53.666;1035.735;1984.604  
2022-04-21T05:01:00.000Z;21.278;53.585;1084.025;2157.149  
2022-04-21T05:02:00.000Z;21.15;53.773;1069.344;2268.484  
2022-04-21T05:03:00.000Z;21.193;57.209;891.638;2451.642  
2022-04-21T05:04:00.000Z;21.193;57.273;1081.562;2887.067  
2022-04-21T05:05:00.000Z;21.446;60.652;1039.796;3522.499  
2022-04-21T05:06:00.000Z;21.476;61.202;973.666;4153.337  
2022-04-21T05:07:00.000Z;21.361;60.688;1059.734;4469.572  
2022-04-21T05:08:00.000Z;21.278;60.478;928.878;4749.534  
2022-04-21T05:09:00.000Z;21.123;58.477;996.911;4667.969  
2022-04-21T05:10:00.000Z;21.278;58.207;800.715;4428.283  
2022-04-21T05:11:00.000Z;21.15;57.932;859.709;4329.503  
2022-04-21T05:12:00.000Z;21.249;57.073;829.795;4249.51

2022-04-21T05:13:00.000Z;21.756;58.978;991.31;4620.818  
2022-04-21T05:14:00.000Z;21.785;59.805;1232.555;4974.301  
2022-04-21T05:15:00.000Z;21.743;61.733;1226.864;5319.742  
2022-04-21T05:16:00.000Z;21.884;63.977;884.688;5786.841  
2022-04-21T05:17:00.000Z;21.911;65.106;1044.958;6289.826  
2022-04-21T05:18:00.000Z;21.855;70.243;1011.934;6616.762  
2022-04-21T05:19:00.000Z;21.716;68.797;1120.031;6863.272  
2022-04-21T05:20:00.000Z;21.604;67.701;1155.004;6907.65  
2022-04-21T05:21:00.000Z;21.505;66.096;995.496;6772.568  
2022-04-21T05:22:00.000Z;21.43;64.128;1073.359;6628.43  
2022-04-21T05:23:00.000Z;21.417;62.654;1111.446;6229.91  
2022-04-21T05:24:00.000Z;21.532;62.107;1267.874;5961.435  
2022-04-21T05:25:00.000Z;21.561;61.001;1188.364;5620.19  
2022-04-21T05:26:00.000Z;21.518;60.067;1209.475;5372.905  
2022-04-21T05:27:00.000Z;21.505;60.012;1250.543;5216.86  
2022-04-21T05:28:00.000Z;21.476;59.239;1088.963;5004.591  
2022-04-21T05:29:00.000Z;21.404;59.202;1158.764;4827.54  
2022-04-21T05:30:00.000Z;21.868;61.642;1342.429;5354.51  
2022-04-21T05:31:00.000Z;21.98;66.273;1651.378;5881.636  
2022-04-21T05:32:00.000Z;22.023;64.302;1746.534;6334.276  
2022-04-21T05:33:00.000Z;22.1ed;65.898;1090.902;6486.246  
2022-04-21T05:34:00.000Z;22.731;64.565;1232.299;6321.865  
2022-04-21T05:35:00.000Z;23.842;58.99;1139.934;6203.523  
2022-04-21T05:36:00.000Z;23.826;60.674;1464.279;5830.355  
2022-04-21T05:37:00.000Z;22.504;59.248;1325.552;5644.38  
2022-04-21T05:38:00.000Z;21.743;61.022;1379.931;5448.22  
2022-04-21T05:39:00.000Z;21.631;60.282;1291.518;5477.984  
2022-04-21T05:40:00.000Z;21.476;60.378;1374.888;5400.969  
2022-04-21T05:41:00.000Z;21.361;60.761;1409.647;5288.533  
2022-04-21T05:42:00.000Z;21.828;66.658;1439.433;5379.768  
2022-04-21T05:43:00.000Z;21.673;67.51;1300.112;5903.484  
2022-04-21T05:44:00.000Z;21.716;69.203;1372.957;6388.152  
2022-04-21T05:45:00.000Z;21.518;67.314;1386.277;6627.977  
2022-04-21T05:46:00.000Z;21.631;70.257;1524.446;6798.613  
2022-04-21T05:47:00.000Z;21.446;67.808;1402.015;6955.543  
2022-04-21T05:48:00.000Z;21.588;68.948;1450.686;7132.982  
2022-04-21T05:49:00.000Z;21. vc;71.698;1216.972;7380.811  
2022-04-21T05:50:00.000Z;21.799;71.446;1441.113;7792.2  
2022-04-21T05:51:00.000Z;21.772;70.512;1267.135;8002.459  
2022-04-21T05:52:00.000Z;21.799;70.205;1342.347;8174.219  
2022-04-21T05:53:00.000Z;21.729;72.7;1083.119;8255.939  
2022-04-21T05:54:00.000Z;21.631;69.578;1482.509;8272.955  
2022-04-21T05:55:00.000Z;21.604;68.431;1347.062;8197.092  
2022-04-21T05:56:00.000Z;21.631;71.928;1342.137;8269.347  
2022-04-21T05:57:00.000Z;21.756;68.896;1856.471;8254.201  
2022-04-21T05:58:00.000Z;21.812;70.61;1284.079;8465.578  
2022-04-21T05:59:00.000Z;21.812;72.184;1390.716;8609.24  
2022-04-21T06:00:00.000Z;21.924;72.409;1437.842;8587.763

2022-04-21T06:01:00.000Z;21.828;73.352;1409.973;8575.822  
2022-04-21T06:02:00.000Z;21.855;68.956;1398.605;8543.13  
2022-04-21T06:03:00.000Z;21.743;69.561;1217.394;8452.857  
2022-04-21T06:04:00.000Z;21.898;75.312;1359.631;8527.913  
2022-04-21T06:05:00.000Z;21.94;69.377;1350.556;8524.647  
2022-04-21T06:06:00.000Z;22.079;72.628;1404.835;8485.572  
2022-04-21T06:07:00.000Z;21.94;69.2;1396.762;8473.766  
2022-04-21T06:08:00.000Z;21.911;70.434;1479.144;8487.128  
2022-04-21T06:09:00.000Z;21.996;71.772;1462.607;8463.813  
2022-04-21T06:10:00.000Z;21.756;71.231;1463.307;8485.832  
2022-04-21T06:11:00.000Z;21.631;69.429;1413.965;8447.81  
2022-04-21T06:12:00.000Z;21.687;68.141;1553.862;8417.486  
2022-04-21T06:13:00.000Z;21.924;68.791;1354.43;8460.834  
2022-04-21T06:14:00.000Z;21.967;70.024;1410.343;8487.128  
2022-04-21T06:15:00.000Z;22.1ed;71.273;1372.41;8603.644  
2022-04-21T06:16:00.000Z;21.812;69.212;1447.81;8466.868  
2022-04-21T06:17:00.000Z;21.687;68.98;1372.777;8356.535  
2022-04-21T06:18:00.000Z;21.604;66.6;1181.182;8216.034  
2022-04-21T06:19:00.000Z;21.575;67.213;1280.079;8008.277  
2022-04-21T06:20:00.000Z;21.548;67.504;1328.348;7871.191  
2022-04-21T06:21:00.000Z;21.532;66.7;1316.815;7775.627  
2022-04-21T06:22:00.000Z;21.532;66.412;1315.629;7785.475  
2022-04-21T06:23:00.000Z;21.575;67.697;1216.215;7767.822  
2022-04-21T06:24:00.000Z;21.532;68.2;1279.609;7717.3  
2022-04-21T06:25:00.000Z;21.588;65.794;1176.203;7680.317  
2022-04-21T06:26:00.000Z;21.631;64.721;1312.039;7532.759  
2022-04-21T06:27:00.000Z;21.588;66.659;1372.712;7563.143  
2022-04-21T06:28:00.000Z;21.532;69.772;1226.351;7546.26  
2022-04-21T06:29:00.000Z;21.588;65.629;1336.029;7476.275  
2022-04-21T06:30:00.000Z;21.548;65.611;1616.312;7338.176  
2022-04-21T06:31:00.000Z;21.588;64.681;1289.481;7239.656  
2022-04-21T06:32:00.000Z;21.604;63.954;1093.119;7055.901  
2022-04-21T06:33:00.000Z;21.644;66.763;1304.761;7006.414  
2022-04-21T06:34:00.000Z;21.548;65.335;1021.887;6984.937  
2022-04-21T06:35:00.000Z;21.505;64.43;1216.103;6871.946  
2022-04-21T06:36:00.000Z;21.46;65.121;1290.362;6724.576  
2022-04-21T06:37:00.000Z;21.334;66.435;1179.57;6658.466  
2022-04-21T06:38:00.000Z;21.772;65.386;1324.688;6839.16  
2022-04-21T06:39:00.000Z;21.729;64.154;1454.695;6772.441  
2022-04-21T06:40:00.000Z;21.548;69.323;1397.486;6643.631  
2022-04-21T06:41:00.000Z;21.404;68.891;1493.057;6613.567  
2022-04-21T06:42:00.000Z;21.588;66.403;1306.035;6598.328  
2022-04-21T06:43:00.000Z;21.66;64.686;1169.919;6611.852  
2022-04-21T06:44:00.000Z;21.588;68.348;1406.478;8915.014  
2022-04-21T06:45:00.000Z;21.575;65.945;1285.069;9041.139  
2022-04-21T06:46:00.000Z;21.673;66.328;1342.065;8522.272  
2022-04-21T06:47:00.000Z;21.548;68.005;1327.123;8111.768  
2022-04-21T06:48:00.000Z;21.631;65.73;1296.917;7871.817

2022-04-21T06:49:00.000Z;21.374;69.377;1191.378;7660.146  
2022-04-21T06:50:00.000Z;21.179;69.424;1137.95;7394.749  
2022-04-21T06:51:00.000Z;21.334;66.044;1115.975;7209.2  
2022-04-21T06:52:00.000Z;21.334;64.872;1301.637;7005.152  
2022-04-21T06:53:00.000Z;21.123;64.604;1145.343;6618.588  
2022-04-21T06:54:00.000Z;21.404;63.032;1048.511;6424.277  
2022-04-21T06:55:00.000Z;21.038;64.988;1098.036;6228.819  
2022-04-21T06:56:00.000Z;21.067;68.223;1300.667;6205.361  
2022-04-21T06:57:00.000Z;21.038;64.196;1334.854;6001.761  
2022-04-21T06:58:00.000Z;21.067;63.554;1026.29;5888.355  
2022-04-21T06:59:00.000Z;21.305;62.612;1121.758;5828.988  
2022-04-21T07:00:00.000Z;21.262;61.546;1273.358;5783.874  
2022-04-21T07:01:00.000Z;21.206;61.729;937.863;5671.643  
2022-04-21T07:02:00.000Z;21.024;61.985;867.328;5593.747  
2022-04-21T07:03:00.000Z;21.054;61.857;908.408;5467.201  
2022-04-21T07:04:00.000Z;20.87;61.248;1105.9;5196.224  
2022-04-21T07:05:00.000Z;20.942;60.214;1304.427;4982.754  
2022-04-21T07:06:00.000Z;21.011;60.873;1068.847;4877.17  
2022-04-21T07:07:00.000Z;20.854;61.614;1245.764;4770.956  
2022-04-21T07:08:00.000Z;21.038;60.949;1298.889;4700.523  
2022-04-21T07:09:00.000Z;21.137;60.443;1261.129;4598.062  
2022-04-21T07:10:00.000Z;21.193;60.864;1174.677;4556.977  
2022-04-21T07:11:00.000Z;21.206;60.836;1226.881;4534.315  
2022-04-21T07:12:00.000Z;21.193;60.104;1227.842;4488.105  
2022-04-21T07:13:00.000Z;21.038;60.456;1296.795;4449.113  
2022-04-21T07:14:00.000Z;21.038;61.965;1191.589;4494.028  
2022-04-21T07:15:00.000Z;21.206;61.27;1160.229;4525.469  
2022-04-21T07:16:00.000Z;20.827;61.92;806.981;4471.803  
2022-04-21T07:17:00.000Z;21.137;61.399;1048.415;4517.133  
2022-04-21T07:18:00.000Z;21.206;60.661;924.994;4482.06  
2022-04-21T07:19:00.000Z;21.137;60.391;862.99;4466.007  
2022-04-21T07:20:00.000Z;20.87;60.908;970.374;4420.379  
2022-04-21T07:21:00.000Z;20.56;61.91;975.832;4401.603  
2022-04-21T07:22:00.000Z;20.448;62.823;818.674;4402.637  
2022-04-21T07:23:00.000Z;20.474;61.947;797.513;4359.488  
2022-04-21T07:24:00.000Z;20.728;60.822;782.521;4309.675  
2022-04-21T07:25:00.000Z;20.461;61.636;759.724;4259.269  
2022-04-21T07:26:00.000Z;20.322;61.756;643.254;4215.639  
2022-04-21T07:27:00.000Z;20.448;61.633;718.392;4157.583  
2022-04-21T07:28:00.000Z;20.306;61.147;512.553;4097.739  
2022-04-21T07:29:00.000Z;20.221;62.145;1017.142;4073.062  
2022-04-21T07:30:00.000Z;20.659;61.088;895.733;4068.987  
2022-04-21T07:31:00.000Z;20.741;60.981;800.459;4052.857  
2022-04-21T07:32:00.000Z;20.616;61.367;1052.367;4014.065  
2022-04-21T07:33:00.000Z;20.728;61.244;1068.641;3996.462  
2022-04-21T07:34:00.000Z;20.797;60.713;1017.464;3977.741  
2022-04-21T07:35:00.000Z;20.659;60.923;899.28;3954.337  
2022-04-21T07:36:00.000Z;20.771;60.626;1169.209;3969.764

2022-04-21T07:37:00.000Z;20.926;59.603;1002.762;3906.721  
2022-04-21T07:38:00.000Z;20.942;59.408;907.57;3872.811  
2022-04-21T07:39:00.000Z;20.982;59.635;708.374;3839.432  
2022-04-21T07:40:00.000Z;20.672;59.559;755.907;3800.822  
2022-04-21T07:41:00.000Z;20.616;60.075;747.19;3767.903  
2022-04-21T07:42:00.000Z;20.546;59.516;762.41;3738.636  
2022-04-21T07:43:00.000Z;20.685;59.649;742.174;3704.721  
2022-04-21T07:44:00.000Z;20.87;59.539;732.923;3653.988  
2022-04-21T07:45:00.000Z;20.715;59.599;674.111;3609.04  
2022-04-21T07:46:00.000Z;20.448;59.467;674.441;3546.406  
2022-04-21T07:47:00.000Z;20.771;59.358;661.272;3517.218  
2022-04-21T07:48:00.000Z;20.279;59.557;647.798;3485.893  
2022-04-21T07:49:00.000Z;20.659;59.239;481.68;3437.115  
2022-04-21T07:50:00.000Z;20.998;58.433;566.239;3373.257  
2022-04-21T07:51:00.000Z;20.87;57.92;633.889;3361.456  
2022-04-21T07:52:00.000Z;20.797;59.548;721.677;3339.729  
2022-04-21T07:53:00.000Z;20.603;59.187;679.219;3302.198  
2022-04-21T07:54:00.000Z;20.771;59.622;608.671;3273.575  
2022-04-21T07:55:00.000Z;20.84;58.561;581.479;3240.511  
2022-04-21T07:56:00.000Z;20.982;58.509;572.033;3200.9  
2022-04-21T07:57:00.000Z;20.982;58.999;612.215;3160.607  
2022-04-21T07:58:00.000Z;20.942;58.556;597.712;3134.031  
2022-04-21T07:59:00.000Z;20.854;58.781;595.899;3132.36  
2022-04-21T08:00:00.000Z;20.827;59.005;584.081;3120.852  
2022-04-21T08:01:00.000Z;20.926;59.1;556.936;3108.773  
2022-04-21T08:02:00.000Z;20.586;60.768;815.408;3204.066  
2022-04-21T08:03:00.000Z;20.672;60.977;980.351;3322.082  
2022-04-21T08:04:00.000Z;20.968;61.041;904.781;3487.382  
2022-04-21T08:05:00.000Z;20.699;60.972;1059.193;3522.117  
2022-04-21T08:06:00.000Z;20.926;61.865;1155.618;3577.505  
2022-04-21T08:07:00.000Z;20.771;61.221;1039.597;3607.075  
2022-04-21T08:08:00.000Z;20.741;62.58;839.207;3711.801  
2022-04-21T08:09:00.000Z;21.024;61.924;945.312;3717.181  
2022-04-21T08:10:00.000Z;20.741;61.535;1018.95;3670.943  
2022-04-21T08:11:00.000Z;20.797;61.851;726.146;3640.698  
2022-04-21T08:12:00.000Z;20.616;67.472;772.767;3693.163  
2022-04-21T08:13:00.000Z;20.586;62.96;995.276;3793.011  
2022-04-21T08:14:00.000Z;20.629;64.131;973.41;3805.333  
2022-04-21T08:15:00.000Z;20.771;62.544;1219.961;3848.189  
2022-04-21T08:16:00.000Z;20.53;64.685;949.571;3923.897  
2022-04-21T08:17:00.000Z;20.942;63.592;1056.927;3908.005  
2022-04-21T08:18:00.000Z;21.054;63.449;1135.116;3941.672  
2022-04-21T08:19:00.000Z;20.755;63.293;1049.169;3978.007  
2022-04-21T08:20:00.000Z;20.827;69.624;1134.171;4111.865  
2022-04-21T08:21:00.000Z;21.011;66.905;1257.605;4241.063  
2022-04-21T08:22:00.000Z;20.56;65.943;987.795;4270.024  
2022-04-21T08:23:00.000Z;20.573;66.868;1023.114;4333.04  
2022-04-21T08:24:00.000Z;20.603;66.896;972.06;4401.049



2022-04-21T08:25:00.000Z;20.461;67.185;1091.031;4442.199  
2022-04-21T08:26:00.000Z;20.418;67.106;1092.489;4483.012  
2022-04-21T08:27:00.000Z;20.448;66.311;885.441;4485.88  
2022-04-21T08:28:00.000Z;20.504;68.077;829.108;4541.86  
2022-04-21T08:29:00.000Z;20.699;69.822;835.109;4681.852  
2022-04-21T08:30:00.000Z;20.322;67.541;667.565;4657.324  
2022-04-21T08:31:00.000Z;20.392;67.309;619.004;4646.773  
2022-04-21T08:32:00.000Z;20.586;66.471;797.648;4650.156  
2022-04-21T08:33:00.000Z;20.266;67.587;735.948;4664.354  
2022-04-21T08:34:00.000Z;20.643;66.503;686.154;4650.587  
2022-04-21T08:35:00.000Z;20.266;66.859;716.622;4598.493  
2022-04-21T08:36:00.000Z;20.335;67.047;492.97;4611.817  
2022-04-21T08:37:00.000Z;20.293;66.946;803.559;4604.2  
2022-04-21T08:38:00.000Z;20.036;67.189;683.484;4596.439  
2022-04-21T08:39:00.000Z;20.247;67.799;813.146;4567.744  
2022-04-21T08:40:00.000Z;20.362;67.822;866.903;4556.928  
2022-04-21T08:41:00.000Z;20.573;67.424;1065.991;4599.418  
2022-04-21T08:42:00.000Z;20.84;65.957;1042.643;4676.704  
2022-04-21T08:43:00.000Z;20.926;69.438;1006.564;4644.177  
2022-04-21T08:44:00.000Z;20.968;67.642;928.304;4701.22  
2022-04-21T08:45:00.000Z;20.755;67.619;1057.246;4691.832  
2022-04-21T08:46:00.000Z;20.886;68.644;1180.571;4738.242  
2022-04-21T08:47:00.000Z;20.755;68.296;1105.998;4795.716  
2022-04-21T08:48:00.000Z;21.15;67.442;1195.75;4780.643  
2022-04-21T08:49:00.000Z;21.235;67.932;1078.391;4799.27  
2022-04-21T08:50:00.000Z;21.716;65.49;1032.68;4774.709  
2022-04-21T08:51:00.000Z;21.348;65.811;982.241;4715.939  
2022-04-21T08:52:00.000Z;21.081;67.428;866.969;4707.011  
2022-04-21T08:53:00.000Z;22.207;67.483;839.578;4756.702  
2022-04-21T08:54:00.000Z;21.548;64.602;615.189;4675.874  
2022-04-21T08:55:00.000Z;21.505;64.419;713.238;4546.654  
2022-04-21T08:56:00.000Z;21.548;65.858;696.408;4488.841  
2022-04-21T08:57:00.000Z;21.812;64.735;673.045;4446.639  
2022-04-21T08:58:00.000Z;20.771;66.282;810.342;4439.454  
2022-04-21T08:59:00.000Z;21.575;66.018;933.729;4691.08  
2022-04-21T09:00:00.000Z;22.1ed;66.9;1172.104;4770.973  
2022-04-21T09:01:00.000Z;21.729;66.883;986.466;4784.889  
2022-04-21T09:02:00.000Z;21.575;66.955;929.278;4810.059  
2022-04-21T09:03:00.000Z;21.235;67.372;1065.642;4822.115  
2022-04-21T09:04:00.000Z;21.785;68.241;1217.538;4832.045  
2022-04-21T09:05:00.000Z;21.716;67.756;1034.191;4843.891  
2022-04-21T09:06:00.000Z;21.561;68.324;1059.705;4874.796  
2022-04-21T09:07:00.000Z;21.505;68.183;1169.508;4881.012  
2022-04-21T09:08:00.000Z;21.673;68.632;1306.713;4854.563  
2022-04-21T09:09:00.000Z;22.095;67.102;999.856;4886.387  
2022-04-21T09:10:00.000Z;21.548;67.895;1152.387;4870.129  
2022-04-21T09:11:00.000Z;21.617;68.472;1152.993;4866.244  
2022-04-21T09:12:00.000Z;21.137;67.469;1170.058;4849.083

2022-04-21T09:13:00.000Z;21.361;68.598;1224.088;4837.835  
2022-04-21T09:14:00.000Z;21.644;68.33;1219.357;4835.572  
2022-04-21T09:15:00.000Z;21.772;67.396;1129.464;4827.113  
2022-04-21T09:16:00.000Z;21.687;67.523;1180.737;4814.177  
2022-04-21T09:17:00.000Z;21.924;66.429;1006.899;4860.42  
2022-04-21T09:18:00.000Z;21.476;69.337;979.457;4854.387  
2022-04-21T09:19:00.000Z;20.643;69.528;1017.713;4914.402  
2022-04-21T09:20:00.000Z;21.15;69.31;923.419;4930.737  
2022-04-21T09:21:00.000Z;21.617;67.538;996.621;4901.593  
2022-04-21T09:22:00.000Z;21.137;68.362;1079.189;4947.194  
2022-04-21T09:23:00.000Z;20.899;70.326;1005.014;5007.53  
2022-04-21T09:24:00.000Z;20.699;70.294;926.496;5036.514  
2022-04-21T09:25:00.000Z;21.278;69.946;874.686;5042.687  
2022-04-21T09:26:00.000Z;21.094;70.791;1073.547;5069.904  
2022-04-21T09:27:00.000Z;20.982;70.333;1026.616;5088.315  
2022-04-21T09:28:00.000Z;20.517;70.137;1051.099;5065.315  
2022-04-21T09:29:00.000Z;20.741;70.106;1017.777;5058.457  
2022-04-21T09:30:00.000Z;21.361;68.823;1045.915;5037.272  
2022-04-21T09:31:00.000Z;21.081;68.371;901.157;4996.432  
2022-04-21T09:32:00.000Z;21.687;67.875;1196.618;4957.883  
2022-04-21T09:33:00.000Z;21.548;73.506;1084.384;4989.103  
2022-04-21T09:34:00.000Z;21.334;75.499;1083.251;5233.256  
2022-04-21T09:35:00.000Z;21.855;75.238;919.859;5192.166  
2022-04-21T09:36:00.000Z;21.532;72.802;808.211;5152.045  
2022-04-21T09:37:00.000Z;21.291;69.369;719.184;5038.103  
2022-04-21T09:38:00.000Z;21.673;73.927;797.697;4996.637  
2022-04-21T09:39:00.000Z;21.532;77.034;821.189;5088.681  
2022-04-21T09:40:00.000Z;21.334;75.326;829.926;5156.567  
2022-04-21T09:41:00.000Z;21.348;76.26;778.946;5203.082  
2022-04-21T09:42:00.000Z;21.054;74.56;745.929;5157.464  
2022-04-21T09:43:00.000Z;21.66;78.392;770.348;5205.407  
2022-04-21T09:44:00.000Z;21.305;76.126;656.252;5239.91  
2022-04-21T09:45:00.000Z;21.39;78.979;680.549;5201.626  
2022-04-21T09:46:00.000Z;21.446;77.852;712.308;5178.615  
2022-04-21T09:47:00.000Z;20.87;73.959;475.455;5058.269  
2022-04-21T09:48:00.000Z;21.15;71.804;447.274;4970.726  
2022-04-21T09:49:00.000Z;21.46;78.553;685.357;4887.395  
2022-04-21T09:50:00.000Z;21.179;76.873;741.944;4941.26  
2022-04-21T09:51:00.000Z;21.489;76.236;608.322;5027.093  
2022-04-21T09:52:00.000Z;21.054;72.999;653.995;4869.477  
2022-04-21T09:53:00.000Z;20.886;71.208;727.672;4788.376  
2022-04-21T09:54:00.000Z;21.334;76.986;534.412;4705.333  
2022-04-21T09:55:00.000Z;21.46;69.767;650.742;4631.191  
2022-04-21T09:56:00.000Z;21.193;68.278;591.391;4504.883  
2022-04-21T09:57:00.000Z;21.561;69.317;524.924;4427.802  
2022-04-21T09:58:00.000Z;21.334;69.378;655.526;4446.75  
2022-04-21T09:59:00.000Z;21.179;70.239;616.317;4552.98  
2022-04-21T10:00:00.000Z;20.955;70.907;679.667;4538.085

2022-04-21T10:01:00.000Z;21.644;73.782;669.798;4558.278  
2022-04-21T10:02:00.000Z;21.604;74.217;630.444;4623.519  
2022-04-21T10:03:00.000Z;21.278;72.038;837.204;4688.134  
2022-04-21T10:04:00.000Z;21.561;76.368;698.55;4790.23  
2022-04-21T10:05:00.000Z;21.39;73.626;603.42;4819.165  
2022-04-21T10:06:00.000Z;21.262;71.78;738.704;4833.933  
2022-04-21T10:07:00.000Z;21.222;71.899;1012.594;4763.45  
2022-04-21T10:08:00.000Z;20.998;73.104;847.462;4815.157  
2022-04-21T10:09:00.000Z;20.955;76.452;855.083;4984.835  
2022-04-21T10:10:00.000Z;21.235;72.993;802.264;5021.347  
2022-04-21T10:11:00.000Z;21.687;74.591;681.771;4885.701  
2022-04-21T10:12:00.000Z;20.266;70.484;570.727;4859.723  
2022-04-21T10:13:00.000Z;20.546;73.396;702.691;4887.599  
2022-04-21T10:14:00.000Z;20.247;71.753;627.389;4974.761  
2022-04-21T10:15:00.000Z;20.448;73.098;733.835;5125.336  
2022-04-21T10:16:00.000Z;21.137;77.284;755.233;5233.931  
2022-04-21T10:17:00.000Z;21.404;76.878;814.997;5232.209  
2022-04-21T10:18:00.000Z;21.348;76.356;642.94;5183.221  
2022-04-21T10:19:00.000Z;20.899;73.338;781.543;5140.94  
2022-04-21T10:20:00.000Z;21.024;76.059;788.328;5143.332  
2022-04-21T10:21:00.000Z;21. vc;76.432;723.9;5124.478  
2022-04-21T10:22:00.000Z;20.573;70.394;679.802;4973.914  
2022-04-21T10:23:00.000Z;21.094;74.771;774.975;4995.629  
2022-04-21T10:24:00.000Z;21.644;78.341;710.626;5024.038  
2022-04-21T10:25:00.000Z;21.518;78.173;975.488;5158.715  
2022-04-21T10:26:00.000Z;20.854;72.073;787.7;5026.407  
2022-04-21T10:27:00.000Z;20.279;70.34;625.07;4940.629  
2022-04-21T10:28:00.000Z;20.392;70.031;633.653;4793.541  
2022-04-21T10:29:00.000Z;20.461;70.907;619.152;4721.602  
2022-04-21T10:30:00.000Z;21.15;74.24;686.933;4747.79  
2022-04-21T10:31:00.000Z;21.206;80.554;685.805;4932.237  
2022-04-21T10:32:00.000Z;21.532;78.791;563.134;5082.564  
2022-04-21T10:33:00.000Z;20.87;72.802;729.826;4943.795  
2022-04-21T10:34:00.000Z;20.335;72.036;697.112;4916.196  
2022-04-21T10:35:00.000Z;20.827;71.272;573.674;4957.391  
2022-04-21T10:36:00.000Z;20.982;74.536;923.893;4981.729  
2022-04-21T10:37:00.000Z;21.262;80.058;886.516;5220.519  
2022-04-21T10:38:00.000Z;21.404;80.517;762.385;5353.757  
2022-04-21T10:39:00.000Z;20.827;74.537;569.602;5220.784  
2022-04-21T10:40:00.000Z;20.741;73.478;710.921;5141.528  
2022-04-21T10:41:00.000Z;20.84;74.636;624.783;5083.057  
2022-04-21T10:42:00.000Z;20.912;76.645;711.63;5103.167  
2022-04-21T10:43:00.000Z;21.067;77.697;606.536;5146.819  
2022-04-21T10:44:00.000Z;21.193;78.392;702.552;5153.617  
2022-04-21T10:45:00.000Z;22.616;90.986;601.376;5421.511  
2022-04-21T10:46:00.000Z;21.011;76.364;745.25;5517.147  
2022-04-21T10:47:00.000Z;21.024;72.363;662.875;5116.607  
2022-04-21T10:48:00.000Z;21.756;72.006;646.212;4942.876

2022-04-21T10:49:00.000Z;21.235;72.972;629.705;4811.824  
2022-04-21T10:50:00.000Z;21. vc;74.17;568.241;4720.794  
2022-04-21T10:51:00.000Z;22.079;73.242;631.866;4621.57  
2022-04-21T10:52:00.000Z;22.474;71.098;664.739;4570.605  
2022-04-21T10:53:00.000Z;21.617;74.989;1264.513;5126.997  
2022-04-21T10:54:00.000Z;21.46;74.469;974.951;5507.854  
2022-04-21T10:55:00.000Z;20.827;74.92;1101.578;5616.73  
2022-04-21T10:56:00.000Z;20.504;76.661;1059.578;5747.052  
2022-04-21T10:57:00.000Z;20.474;76.693;1127.358;5848.572  
2022-04-21T10:58:00.000Z;20.672;76.663;1120.573;5925.631  
2022-04-21T10:59:00.000Z;20.586;76.002;1110.324;5973.635  
2022-04-21T11:00:00.000Z;20.771;76.342;1122.568;6017.476  
2022-04-21T11:01:00.000Z;20.827;75.972;1118.056;6019.07  
2022-04-21T11:02:00.000Z;20.616;76.004;944.999;6041.278  
2022-04-21T11:03:00.000Z;20.504;76.652;1034.904;6062.23  
2022-04-21T11:04:00.000Z;20.998;79.561;921.421;6098.902  
2022-04-21T11:05:00.000Z;20.728;75.778;1150.383;6158.032  
2022-04-21T11:06:00.000Z;20.87;75.055;1119.745;6122.6  
2022-04-21T11:07:00.000Z;20.715;75.132;1006.629;6088.8  
2022-04-21T11:08:00.000Z;21.206;72.956;1020.244;6012.942  
2022-04-21T11:09:00.000Z;20.784;73.214;1006.511;5930.558  
2022-04-21T11:10:00.000Z;21.094;70.829;976.548;5810.389  
2022-04-21T11:11:00.000Z;20.926;70.686;985.986;5691.498  
2022-04-21T11:12:00.000Z;20.659;71.763;954.401;5583.324  
2022-04-21T11:13:00.000Z;21.024;69.891;920.18;5521.863  
2022-04-21T11:14:00.000Z;20.755;70.532;1053.461;5455.676  
2022-04-21T11:15:00.000Z;20.741;70.48;959.387;5408.896  
2022-04-21T11:16:00.000Z;20.349;70.875;930.911;5317.412  
2022-04-21T11:17:00.000Z;20.797;70.852;871.228;5286.031  
2022-04-21T11:18:00.000Z;20.715;70.188;858.876;5238.321  
2022-04-21T11:19:00.000Z;20.546;71.534;1143.532;5177.973  
2022-04-21T11:20:00.000Z;20.504;70.191;817.075;5144.86  
2022-04-21T11:21:00.000Z;20.207;71.089;950.351;5100.034  
2022-04-21T11:22:00.000Z;20.092;69.351;1032.15;5016.448  
2022-04-21T11:23:00.000Z;20.234;69.744;923.314;4873.096  
2022-04-21T11:24:00.000Z;20.474;68.325;940.118;4757.621  
2022-04-21T11:25:00.000Z;20.811;68.818;1195.085;4684.57  
2022-04-21T11:26:00.000Z;20.741;68.42;758.233;4628.247  
2022-04-21T11:27:00.000Z;20.968;67.907;926.172;4561.018  
2022-04-21T11:28:00.000Z;20.685;68.576;969.19;4475.573  
2022-04-21T11:29:00.000Z;20.306;68.046;928.057;4425.444  
2022-04-21T11:30:00.000Z;20.672;67.758;874.34;4361.459  
2022-04-21T11:31:00.000Z;20.49;69.415;968.887;4374.484  
2022-04-21T11:32:00.000Z;20.474;70.381;1100.317;4504.49  
2022-04-21T11:33:00.000Z;20.811;69.424;1047.224;4534.393  
2022-04-21T11:34:00.000Z;21.291;67.893;841.868;4518.667  
2022-04-21T11:35:00.000Z;21.054;68.023;849.688;4468.554  
2022-04-21T11:36:00.000Z;20.942;67.962;802.129;4444.231

2022-04-21T11:37:00.000Z;20.912;67.601;653.581;4433.094  
2022-04-21T11:38:00.000Z;20.87;68.2;900.658;4385.19  
2022-04-21T11:39:00.000Z;21.361;67.575;801.903;4354.13  
2022-04-21T11:40:00.000Z;20.912;67.121;815.639;4285.059  
2022-04-21T11:41:00.000Z;20.784;67.999;734.278;4279.905  
2022-04-21T11:42:00.000Z;20.926;69.017;673.769;4288.009  
2022-04-21T11:43:00.000Z;20.629;67.817;683.472;4266.604  
2022-04-21T11:44:00.000Z;20.811;68.072;700.781;4239.446  
2022-04-21T11:45:00.000Z;20.715;67.738;705.987;4192.938  
2022-04-21T11:46:00.000Z;20.573;67.514;638.797;4166.312  
2022-04-21T11:47:00.000Z;20.418;69.432;719.931;4473.148  
2022-04-21T11:48:00.000Z;20.221;69.546;833.866;4562.457  
2022-04-21T11:49:00.000Z;20.474;69.882;792.49;4489.456  
2022-04-21T11:50:00.000Z;20.335;69.354;815.916;4467.651  
2022-04-21T11:51:00.000Z;20.517;68.902;667.087;4603.043  
2022-04-21T11:52:00.000Z;20.207;70.628;826.192;4537.066  
2022-04-21T11:53:00.000Z;20.715;69.876;840.812;4517.41  
2022-04-21T11:54:00.000Z;20.912;70.278;804.855;4465.604  
2022-04-21T11:55:00.000Z;20.811;69.541;825.098;4442.764  
2022-04-21T11:56:00.000Z;21.137;70.063;615.457;4396.443  
2022-04-21T11:57:00.000Z;20.87;69.25;617.568;4352.769  
2022-04-21T11:58:00.000Z;20.643;69.635;739.554;4320.032  
2022-04-21T11:59:00.000Z;20.49;70.033;507.507;4279.889  
2022-04-21T12:00:00.000Z;19.954;70.074;598.853;4265.27  
2022-04-21T12:01:00.000Z;20.207;71.978;835.341;4247.052  
2022-04-21T12:02:00.000Z;20.122;70.55;579.634;4297.314  
2022-04-21T12:03:00.000Z;20.827;73.008;620.379;4272.455  
2022-04-21T12:04:00.000Z;20.461;71.24;675.409;4308.258  
2022-04-21T12:05:00.000Z;20.56;71.478;593.203;4244.75  
2022-04-21T12:06:00.000Z;20.629;70.759;561.439;4259.812  
2022-04-21T12:07:00.000Z;20.573;71.972;606.398;4198.08  
2022-04-21T12:08:00.000Z;20.392;69.296;607.782;4151.089  
2022-04-21T12:09:00.000Z;20.092;67.337;600.017;4078.509  
2022-04-21T12:10:00.000Z;20.247;68.992;616.674;4055.31  
2022-04-21T12:11:00.000Z;20.448;69.995;572.863;4048.313  
2022-04-21T12:12:00.000Z;20.603;71.478;521.1;3993.567  
2022-04-21T12:13:00.000Z;20.052;69.587;636.601;3931.138  
2022-04-21T12:14:00.000Z;20.149;70.234;546.889;3894.881  
2022-04-21T12:15:00.000Z;20.84;71.423;461.324;3949.665  
2022-04-21T12:16:00.000Z;20.221;71.638;605.11;3885.47  
2022-04-21T12:17:00.000Z;20.741;72.361;611.658;3866.301  
2022-04-21T12:18:00.000Z;20.854;70.198;723.424;3898.523  
2022-04-21T12:19:00.000Z;21.137;70.759;696.208;3853.049  
2022-04-21T12:20:00.000Z;20.036;69.662;771.371;3927.042  
2022-04-21T12:21:00.000Z;20.573;71.264;719.376;3978.577  
2022-04-21T12:22:00.000Z;20.234;68.168;672.837;3939.463  
2022-04-21T12:23:00.000Z;20.755;71.452;636.713;3958.223  
2022-04-21T12:24:00.000Z;20.811;71.661;630.985;3897.549

2022-04-21T12:25:00.000Z;20.797;69.667;763.366;3876.509  
2022-04-21T12:26:00.000Z;20.474;69.061;493.922;3826.645  
2022-04-21T12:27:00.000Z;20.504;71.299;527.556;3779.034  
2022-04-21T12:28:00.000Z;20.982;72.7;631.23;3780.053  
2022-04-21T12:29:00.000Z;20.672;68.269;531.197;3731.252  
2022-04-21T12:30:00.000Z;20.784;69.528;646.437;3625.83  
2022-04-21T12:31:00.000Z;20.755;72.551;685.186;3681.272  
2022-04-21T12:32:00.000Z;20.672;69.639;588.966;3722.063  
2022-04-21T12:33:00.000Z;20.854;71.043;585.621;3702.855  
2022-04-21T12:34:00.000Z;20.811;70.434;654.581;3709.171  
2022-04-21T12:35:00.000Z;20.392;70.178;661.472;3697.508  
2022-04-21T12:36:00.000Z;20.335;70.979;585.692;3681.007  
2022-04-21T12:37:00.000Z;19.954;69.734;666.221;3757.629  
2022-04-21T12:38:00.000Z;20.279;70.388;712.551;3813.958  
2022-04-21T12:39:00.000Z;20.207;71.295;781.142;3870.126  
2022-04-21T12:40:00.000Z;19.588;69.891;955.959;3930.103  
2022-04-21T12:41:00.000Z;19.94;72.729;782.803;3923.25  
2022-04-21T12:42:00.000Z;19.98;70.892;886.464;4059.826  
2022-04-21T12:43:00.000Z;20.715;71.524;876.528;4039.627  
2022-04-21T12:44:00.000Z;21.067;71.373;774.829;4003.32  
2022-04-21T12:45:00.000Z;20.092;68.843;642.966;3917.167  
2022-04-21T12:46:00.000Z;20.517;70.253;699.949;3880.975  
2022-04-21T12:47:00.000Z;20.659;67.854;911.954;3838.745  
2022-04-21T12:48:00.000Z;20.586;69.387;671.695;3795.868  
2022-04-21T12:49:00.000Z;20.092;67.973;622.496;3768.085  
2022-04-21T12:50:00.000Z;19.729;67.886;752.512;3649.355  
2022-04-21T12:51:00.000Z;20.266;69.387;382.884;3617.011  
2022-04-21T12:52:00.000Z;19.996;66.928;613.925;3483.098  
2022-04-21T12:53:00.000Z;20.573;67.207;679.338;3474.501  
2022-04-21T12:54:00.000Z;20.546;68.026;628.601;3447.61  
2022-04-21T12:55:00.000Z;20.191;67.945;655.375;3393.728  
2022-04-21T12:56:00.000Z;20.322;66.018;440.404;3394.214  
2022-04-21T12:57:00.000Z;20.221;69.799;685.437;3325.73  
2022-04-21T12:58:00.000Z;20.434;66.831;554.106;3280.527  
2022-04-21T12:59:00.000Z;20.586;65.916;607.816;3242.189  
2022-04-21T13:00:00.000Z;20.84;67.076;584.018;3219.1  
2022-04-21T13:01:00.000Z;20.685;69.143;556.285;3181.57  
2022-04-21T13:02:00.000Z;20.335;67.385;377.078;3142.656  
2022-04-21T13:03:00.000Z;20.461;66.117;303.029;3146.325  
2022-04-21T13:04:00.000Z;20.392;66.474;489.756;3112.559  
2022-04-21T13:05:00.000Z;20.504;66.332;584.859;3072.715  
2022-04-21T13:06:00.000Z;20.573;65.995;492.3;3039.502  
2022-04-21T13:07:00.000Z;20.912;67.543;553.135;3016.851  
2022-04-21T13:08:00.000Z;20.797;64.749;531.484;3005.033  
2022-04-21T13:09:00.000Z;19.841;65.345;543.108;2913.797  
2022-04-21T13:10:00.000Z;20.797;68.53;663.616;2993.192  
2022-04-21T13:11:00.000Z;20.586;65.907;465.796;2969.224  
2022-04-21T13:12:00.000Z;21.206;67.839;513.172;2950.619

2022-04-21T13:13:00.000Z;20.715;66.712;439.344;2918.702  
2022-04-21T13:14:00.000Z;20.135;64.538;668.177;2947.686  
2022-04-21T13:15:00.000Z;20.266;68.782;596.923;3122.949  
2022-04-21T13:16:00.000Z;21.374;67.903;561.957;3190.283  
2022-04-21T13:17:00.000Z;20.811;66.741;583.368;3174.158  
2022-04-21T13:18:00.000Z;21.489;67.463;594.617;3200.186  
2022-04-21T13:19:00.000Z;21.532;66.236;685.759;3174.053  
2022-04-21T13:20:00.000Z;21.505;67.24;571.522;3149.719  
2022-04-21T13:21:00.000Z;21.604;68.676;562.866;3182.821  
2022-04-21T13:22:00.000Z;21.518;66.831;649.202;3219.698  
2022-04-21T13:23:00.000Z;21.812;65.693;613.476;3290.69  
2022-04-21T13:24:00.000Z;21.476;66.636;681.844;3353.457  
2022-04-21T13:25:00.000Z;22.066;67.024;707.009;3380.11  
2022-04-21T13:26:00.000Z;21.828;65.83;743.097;3433.279  
2022-04-21T13:27:00.000Z;21.446;66.9;701.08;3437.447  
2022-04-21T13:28:00.000Z;22.138;66.511;800.444;3446.608  
2022-04-21T13:29:00.000Z;21.729;65.019;590.625;3488.511  
2022-04-21T13:30:00.000Z;21.772;65.193;730.286;3491.672  
2022-04-21T13:31:00.000Z;21.024;65.734;757.086;3626.35  
2022-04-21T13:32:00.000Z;21.081;65.779;558.388;3642.973  
2022-04-21T13:33:00.000Z;20.982;67.556;792.282;3615.362  
2022-04-21T13:34:00.000Z;21.446;66.365;585.64;3623.444  
2022-04-21T13:35:00.000Z;21.489;64.817;629.866;3614.548  
2022-04-21T13:36:00.000Z;21.898;65.844;774.421;3627.269  
2022-04-21T13:37:00.000Z;22.151;66.43;569.914;3605.359  
2022-04-21T13:38:00.000Z;22.306;65.875;532.539;3589.838  
2022-04-21T13:39:00.000Z;21.644;64.826;821.512;3559.509  
2022-04-21T13:40:00.000Z;22.263;66.339;616.238;3528.477  
2022-04-21T13:41:00.000Z;21.785;66.534;292.088;3583.262  
2022-04-21T13:42:00.000Z;21.799;66.516;608.019;3623.106  
2022-04-21T13:43:00.000Z;21.772;68.2;555.305;3714.402  
2022-04-21T13:44:00.000Z;22.336;63.647;606.34;3668.297  
2022-04-21T13:45:00.000Z;22.053;63.307;688.413;3608.055  
2022-04-21T13:46:00.000Z;22.207;63.345;551.049;3502.826  
2022-04-21T13:47:00.000Z;22.095;63.601;690.574;3473.997  
2022-04-21T13:48:00.000Z;22.392;63.989;486.871;3329.97  
2022-04-21T13:49:00.000Z;21.532;64.311;793.73;3313.624  
2022-04-21T13:50:00.000Z;21.548;65.396;609.226;3281.302  
2022-04-21T13:51:00.000Z;20.926;64.781;797.923;3297.267  
2022-04-21T13:52:00.000Z;21.222;65.362;587.808;3333.042  
2022-04-21T13:53:00.000Z;20.899;69.374;840.442;3357.669  
2022-04-21T13:54:00.000Z;21.011;66.709;678.59;3410.461  
2022-04-21T13:55:00.000Z;20.led;65.394;690.856;3445.717  
2022-04-21T13:56:00.000Z;20.led;66.284;767.74;3473.577  
2022-04-21T13:57:00.000Z;21.094;66.952;680.351;3463.147  
2022-04-21T13:58:00.000Z;21.46;68.855;621.151;3457.928  
2022-04-21T13:59:00.000Z;21.137;66.58;836.488;3459.173  
2022-04-21T14:00:00.000Z;21.235;65.861;689.139;3445.899

2022-04-21T14:01:00.000Z;21.729;65.971;434.827;3406.061  
2022-04-21T14:02:00.000Z;21.98;64.851;666.795;3297.925  
2022-04-21T14:03:00.000Z;21.575;63.526;722.981;3256.044  
2022-04-21T14:04:00.000Z;21.729;64.215;650.665;3194.406  
2022-04-21T14:05:00.000Z;21.812;64.013;613.158;3122.069  
2022-04-21T14:06:00.000Z;21.772;63.697;710.778;3072.848  
2022-04-21T14:07:00.000Z;21.855;63.725;525.591;3034.393  
2022-04-21T14:08:00.000Z;21.729;65.368;541.961;3006.738  
2022-04-21T14:09:00.000Z;21.66;64.292;496.746;2984.978  
2022-04-21T14:10:00.000Z;21.348;63.32;637.625;2944.763  
2022-04-21T14:11:00.000Z;21.868;63.601;724.176;2921.863  
2022-04-21T14:12:00.000Z;20.968;63.618;641.463;2893.206  
2022-04-21T14:13:00.000Z;21.417;63.961;734.612;2974.361  
2022-04-21T14:14:00.000Z;21.996;63.409;603.205;2898.58  
2022-04-21T14:15:00.000Z;21.673;64.144;572.648;2855.227  
2022-04-21T14:16:00.000Z;21.604;63.265;700.702;2850.704  
2022-04-21T14:17:00.000Z;21.334;63.76;827.352;2845.357  
2022-04-21T14:18:00.000Z;21.011;62.548;574.568;2805.275  
2022-04-21T14:19:00.000Z;21.235;63.783;685.697;2821.577  
2022-04-21T14:20:00.000Z;20.982;63.201;534.325;2806.924  
2022-04-21T14:21:00.000Z;21.868;63.705;609.969;2736.906  
2022-04-21T14:22:00.000Z;21.318;62.718;493.618;2735.201  
2022-04-21T14:23:00.000Z;21.291;64.215;669.637;2741.583  
2022-04-21T14:24:00.000Z;20.998;63.851;673.669;2744.888  
2022-04-21T14:25:00.000Z;21.404;63.885;673.594;2738.871  
2022-04-21T14:26:00.000Z;21.235;63.688;547.201;2727.335  
2022-04-21T14:27:00.000Z;20.755;63.793;741.7;2740.471  
2022-04-21T14:28:00.000Z;20.87;62.336;697.478;2702.204  
2022-04-21T14:29:00.000Z;20.56;63.677;617.989;2680.04  
2022-04-21T14:30:00.000Z;20.629;67.405;705.833;2913.936  
2022-04-21T14:31:00.000Z;20.912;65.005;616.685;2916.604  
2022-04-21T14:32:00.000Z;20.49;64.945;798.991;2868.523  
2022-04-21T14:33:00.000Z;20.573;65.595;667.438;2887.703  
2022-04-21T14:34:00.000Z;20.699;65.673;900.913;2882.517  
2022-04-21T14:35:00.000Z;20.643;64.901;824.37;2881.542  
2022-04-21T14:36:00.000Z;20.573;63.986;615.085;2866.829  
2022-04-21T14:37:00.000Z;20.234;63.706;651.321;2839.705  
2022-04-21T14:38:00.000Z;20.899;63.925;682.255;2831.181  
2022-04-21T14:39:00.000Z;20.912;62.982;687.566;2799.092  
2022-04-21T14:40:00.000Z;20.672;65.368;695.879;2802.534  
2022-04-21T14:41:00.000Z;20.659;65.212;665.323;2764.428  
2022-04-21T14:42:00.000Z;20.755;62.869;574.158;2742.026  
2022-04-21T14:43:00.000Z;19.898;63.922;563.688;2713.906  
2022-04-21T14:44:00.000Z;20.392;63.481;713.534;2709.544  
2022-04-21T14:45:00.000Z;20.293;63.636;781.913;2680.771  
2022-04-21T14:46:00.000Z;20.629;64.141;684.21;2685.952  
2022-04-21T14:47:00.000Z;20.84;64.396;643.681;2676.072  
2022-04-21T14:48:00.000Z;20.811;67.816;1359.864;3085.369



2022-04-21T14:49:00.000Z;21.15;66.593;1266.027;3349.344  
2022-04-21T14:50:00.000Z;20.886;67.401;1207.829;3451.385  
2022-04-21T14:51:00.000Z;20.741;67.19;1291.587;3549.8  
2022-04-21T14:52:00.000Z;20.827;66.705;1016.936;3616.308  
2022-04-21T14:53:00.000Z;21.011;66.864;1080.52;3605.16  
2022-04-21T14:54:00.000Z;20.811;66.896;1056.879;3599.691  
2022-04-21T14:55:00.000Z;20.378;67.63;1018.863;3588.21  
2022-04-21T14:56:00.000Z;20.474;67.085;957.505;3604.153  
2022-04-21T14:57:00.000Z;20.546;67.332;933.038;3595.916  
2022-04-21T14:58:00.000Z;21.011;66.104;957.497;3529.236  
2022-04-21T14:59:00.000Z;20.672;66.622;1004.042;3481.847  
2022-04-21T15:00:00.000Z;20.603;66.371;989.344;3470.549  
2022-04-21T15:01:00.000Z;20.854;65.888;989.278;3460.12  
2022-04-21T15:02:00.000Z;20.685;65.948;1025.855;3439.927  
2022-04-21T15:03:00.000Z;20.715;65.551;937.519;3433.173  
2022-04-21T15:04:00.000Z;20.629;65.812;996.66;3395.145  
2022-04-21T15:05:00.000Z;20.629;65.895;1009.438;3374.912  
2022-04-21T15:06:00.000Z;20.685;65.803;1018.013;3374.824  
2022-04-21T15:07:00.000Z;20.573;65.893;1008.209;3357.752  
2022-04-21T15:08:00.000Z;20.685;65.638;929.43;3322.442  
2022-04-21T15:09:00.000Z;20.53;65.405;1075.201;3295.495  
2022-04-21T15:10:00.000Z;21.278;63.934;951.563;3238.995  
2022-04-21T15:11:00.000Z;20.603;65.304;1006.606;3224.769  
2022-04-21T15:12:00.000Z;20.378;65.496;1058.389;3197.65  
2022-04-21T15:13:00.000Z;20.643;65.62;1126.726;3223.423  
2022-04-21T15:14:00.000Z;20.672;64.446;979.679;3199.715  
2022-04-21T15:15:00.000Z;20.659;64.895;1142.323;3150.726  
2022-04-21T15:16:00.000Z;20.49;65.148;775.107;3126.536  
2022-04-21T15:17:00.000Z;20.616;64.662;946.371;3119.385  
2022-04-21T15:18:00.000Z;20.912;64.163;819.928;3070.462  
2022-04-21T15:19:00.000Z;20.811;64.585;1015.948;3064.716  
2022-04-21T5:20:00.000Z;20.741;64.593;862.317;3029.278  
2022-04-21T15:21:00.000Z;20.603;63.981;996.59;3028.597  
2022-04-21T15:22:00.000Z;21.054;63.583;893.753;3017.825  
2022-04-21T15:23:00.000Z;20.998;63.645;1008.193;2977.333  
2022-04-21T15:24:00.000Z;20.728;63.728;782.704;2983.804  
2022-04-21T15:25:00.000Z;21.038;63.702;935.417;2965.178  
2022-04-21T15:26:00.000Z;20.784;64.077;885.959;2973.58  
2022-04-21T15:27:00.000Z;20.886;64.384;890.17;3057.387  
2022-04-21T15:28:00.000Z;20.573;64.561;907.64;2950.315  
2022-04-21T15:29:00.000Z;20.392;63.993;929.024;2897.933  
2022-04-21T15:30:00.000Z;20.53;63.977;989.621;2880.042  
2022-04-21T15:31:00.000Z;20.771;63.775;821.598;2860.458  
2022-04-21T15:32:00.000Z;20.771;63.563;1028.815;2798.66  
2022-04-21T15:33:00.000Z;20.699;63.33;829.478;2774.724  
2022-04-21T15:34:00.000Z;20.84;63.574;894.736;2769.997  
2022-04-21T15:35:00.000Z;21.024;62.672;1160.374;2750.097  
2022-04-21T15:36:00.000Z;20.982;62.676;922.73;2710.984

2022-04-21T15:37:00.000Z;20.685;62.507;1040.912;2694.167  
2022-04-21T15:38:00.000Z;20.56;63.12;1128.9;2670.01  
2022-04-21T15:39:00.000Z;20.926;62.235;822.496;2663.594  
2022-04-21T15:40:00.000Z;20.942;64.681;1034.684;2750.092  
2022-04-21T15:41:00.000Z;20.87;63.334;788.352;2721.523  
2022-04-21T15:42:00.000Z;20.84;63.545;1208.857;2711.266  
2022-04-21T15:43:00.000Z;20.827;63.284;1039.877;2713.663  
2022-04-21T15:44:00.000Z;20.998;64.086;1163.11;2718.036  
2022-04-21T15:45:00.000Z;20.912;63.609;1029.744;2754.171  
2022-04-21T15:46:00.000Z;20.955;63.679;976.314;2757.382  
2022-04-21T15:47:00.000Z;21.054;63.018;915.824;2749.726  
2022-04-21T15:48:00.000Z;20.955;63.81;976.497;2771.458  
2022-04-21T15:49:00.000Z;20.771;64.343;1052.958;2795.969  
2022-04-21T15:50:00.000Z;21.054;63.297;948.094;2791.015  
2022-04-21T15:51:00.000Z;21.011;64.346;948.942;2807.411  
2022-04-21T15:52:00.000Z;20.741;64.007;1002.616;2799.269  
2022-04-21T15:53:00.000Z;20.899;64.007;1030.875;2807.583  
2022-04-21T15:54:00.000Z;20.616;64.434;1100.75;2838  
2022-04-21T15:55:00.000Z;20.685;64.695;963.998;2841.814  
2022-04-21T15:56:00.000Z;21.054;63.801;1013.866;2825.114  
2022-04-21T15:57:00.000Z;20.797;64.007;1112.26;2826.774  
2022-04-21T15:58:00.000Z;21.038;63.499;956.78;2827.256  
2022-04-21T15:59:00.000Z;21.067;62.918;935.535;2767.257  
2022-04-21T16:00:00.000Z;21.081;63.546;968.868;2755.333  
2022-04-21T16:01:00.000Z;20.955;62.887;1146.886;2753.645  
2022-04-21T16:02:00.000Z;20.811;62.818;1001.799;2755.904  
2022-04-21T16:03:00.000Z;21.222;63.583;1039.655;2749.267  
2022-04-21T16:04:00.000Z;20.84;63.554;1011.912;2761.976  
2022-04-21T16:05:00.000Z;20.755;64.309;834.145;2781.959  
2022-04-21T16:06:00.000Z;21.318;62.318;1124.101;2733.862  
2022-04-21T16:07:00.000Z;20.886;62.411;1074.073;2689.49  
2022-04-21T16:08:00.000Z;20.741;63.29;985.707;2703.245  
2022-04-21T16:09:00.000Z;20.942;62.741;876.571;2679.553  
2022-04-21T16:10:00.000Z;20.998;62.721;982.448;2651.245  
2022-04-21T16:11:00.000Z;21.011;63.317;825.24;2590.393  
2022-04-21T16:12:00.000Z;20.998;63.151;743.772;2547.948  
2022-04-21T16:13:00.000Z;21.305;63.261;729.558;2518.776  
2022-04-21T16:14:00.000Z;20.87;61.7;690.844;2462.303  
2022-04-21T16:15:00.000Z;20.392;62.37;811.429;2407.618  
2022-04-21T16:16:00.000Z;20.926;62.254;890.653;2394.554  
2022-04-21T16:17:00.000Z;20.982;61.431;855.993;2366.877  
2022-04-21T16:18:00.000Z;20.811;62.377;909.336;2373.071  
2022-04-21T16:19:00.000Z;20.926;61.537;1164.458;2389.91  
2022-04-21T16:20:00.000Z;20.942;62.176;1081.779;2381.242  
2022-04-21T16:21:00.000Z;20.49;62.606;890.084;2346.136  
2022-04-21T16:22:00.000Z;20.672;61.645;779.702;2305.633  
2022-04-21T16:23:00.000Z;20.672;62.19;792.037;2320.512  
2022-04-21T16:24:00.000Z;20.322;60.996;961.355;2277.413

2022-04-21T16:25:00.000Z;19.996;61.523;615.231;2258.006  
2022-04-21T16:26:00.000Z;20.434;61.366;570.093;2211.679  
2022-04-21T16:27:00.000Z;20.448;60.826;746.717;2149.057  
2022-04-21T16:28:00.000Z;20.998;59.495;843.9;2055.79  
2022-04-21T16:29:00.000Z;21.305;59.472;572.266;1979.605  
2022-04-21T16:30:00.000Z;20.165;60.117;720.647;1901.97  
2022-04-21T16:31:00.000Z;20.942;58.798;621.625;1868.237  
2022-04-21T16:32:00.000Z;20.886;58.788;701.319;1824.872  
2022-04-21T16:33:00.000Z;20.418;60.194;773.154;1816.06  
2022-04-21T16:34:00.000Z;20.854;58.39;728.381;1710.443  
2022-04-21T16:35:00.000Z;21.067;59.046;726.269;1675.337  
2022-04-21T16:36:00.000Z;20.784;58.944;635.671;1645.047  
2022-04-21T16:37:00.000Z;20.603;60.072;675.46;1623.758  
2022-04-21T16:38:00.000Z;20.672;59.426;604.404;1648.717  
2022-04-21T16:39:00.000Z;20.573;58.886;542.549;1583.045  
2022-04-21T16:40:00.000Z;20.926;58.061;844.924;1509.871  
2022-04-21T16:41:00.000Z;20.474;59.503;536.22;1492.767  
2022-04-21T16:42:00.000Z;20.405;58.651;604.588;1450.359  
2022-04-21T16:43:00.000Z;20.349;58.28;514.818;1403.231  
2022-04-21T16:44:00.000Z;20.87;58.729;591.128;1374.546  
2022-04-21T16:45:00.000Z;20.573;57.488;756.976;1333.677  
2022-04-21T16:46:00.000Z;20.546;57.179;619.925;1256.58  
2022-04-21T16:47:00.000Z;20.968;57.379;602.977;1228.554  
2022-04-21T16:48:00.000Z;21.011;56.739;480.776;1202.476  
2022-04-21T16:49:00.000Z;20.266;56.478;434.733;1158.801  
2022-04-21T16:50:00.000Z;20.728;57.064;661.418;1151.544  
2022-04-21T16:51:00.000Z;20.279;56.62;593.02;1091.28  
2022-04-21T16:52:00.000Z;21.024;55.494;699.369;1027.378  
2022-04-21T16:53:00.000Z;21.054;54.94;303.138;1018.206  
2022-04-21T16:54:00.000Z;20.811;55.393;519.545;954.675  
2022-04-21T16:55:00.000Z;20.629;56.056;693.901;986.604  
2022-04-21T16:56:00.000Z;20.912;57.314;1025.105;1210.585  
2022-04-21T16:57:00.000Z;20.926;57.371;841.249;1274.603  
2022-04-21T16:58:00.000Z;20.629;57.301;942.321;1263.676  
2022-04-21T16:59:00.000Z;20.279;58.607;795.958;1314.22  
2022-04-21T17:00:00.000Z;20.942;57.472;658.716;1363.956  
2022-04-21T17:01:00.000Z;20.474;59.001;835.48;1434.013  
2022-04-21T17:02:00.000Z;20.629;57.508;831.581;1409.408  
2022-04-21T17:03:00.000Z;21.011;56.358;806.104;1361.25  
2022-04-21T17:04:00.000Z;21.054;57.7;788.262;1464.613  
2022-04-21T17:05:00.000Z;20.998;56.716;786.001;1909.72  
2022-04-21T17:06:00.000Z;20.672;57.996;711.175;2051.361  
2022-04-21T17:07:00.000Z;21.262;55.883;617.741;2078.751  
2022-04-21T17:08:00.000Z;21.166;56.316;691.307;2058.264  
2022-04-21T17:09:00.000Z;21.067;55.86;652.314;2007.31  
2022-04-21T17:10:00.000Z;21.166;55.483;566.305;1902.286  
2022-04-21T17:11:00.000Z;21.054;54.885;594.619;1767.398  
2022-04-21T17:12:00.000Z;21.094;54.554;604.353;1639.434

2022-04-21T17:13:00.000Z;21.15;54.551;654.521;1570.036  
2022-04-21T17:14:00.000Z;20.84;55.334;533.933;1472.086  
2022-04-21T17:15:00.000Z;20.998;54.624;575.216;1374.413  
2022-04-21T17:16:00.000Z;20.573;55.467;555.31;1300.603  
2022-04-21T17:17:00.000Z;20.827;54.481;370.069;1196.852  
2022-04-21T17:18:00.000Z;21.038;53.997;534.125;1112.065  
2022-04-21T17:19:00.000Z;20.968;53.767;546.523;1057.491  
2022-04-21T17:20:00.000Z;21.179;53.777;693.732;983.565  
2022-04-21T17:21:00.000Z;20.968;54.469;468.15;921.573  
2022-04-21T17:22:00.000Z;20.968;54.238;515.657;869.474  
2022-04-21T17:23:00.000Z;20.926;54.101;540.777;819.455  
2022-04-21T17:24:00.000Z;20.942;53.425;397.272;774.945  
2022-04-21T17:25:00.000Z;20.797;53.698;590.373;729.709  
2022-04-21T17:26:00.000Z;20.715;53.576;625.929;694.918  
2022-04-21T17:27:00.000Z;21.024;53.416;643.517;675.345  
2022-04-21T17:28:00.000Z;20.854;53.172;504.708;651.884  
2022-04-21T17:29:00.000Z;20.955;53.393;512.55;645.955  
2022-04-21T17:30:00.000Z;20.84;53.739;449.091;630.954  
2022-04-21T17:31:00.000Z;20.659;53.393;613.552;619.218  
2022-04-21T17:32:00.000Z;20.53;54.226;448.735;609.821  
2022-04-21T17:33:00.000Z;20.474;53.484;506.981;600.852  
2022-04-21T17:34:00.000Z;20.036;54.696;487.15;598.033  
2022-04-21T17:35:00.000Z;20.699;53.759;440.504;590.04  
2022-04-21T17:36:00.000Z;20.926;53.223;228.38;585.696  
2022-04-21T17:37:00.000Z;20.56;54.066;520.535;575.989  
2022-04-21T17:38:00.000Z;20.771;53.327;583.324;575.958  
2022-04-21T17:39:00.000Z;20.56;53.89;426.539;576.677  
2022-04-21T17:40:00.000Z;20.629;53.858;416.733;566.995  
2022-04-21T17:41:00.000Z;20.685;54.171;433.314;566.979  
2022-04-21T17:42:00.000Z;20.546;53.693;433.903;570.641  
2022-04-21T17:43:00.000Z;20.771;53.617;435.448;568.68  
2022-04-21T17:44:00.000Z;20.685;54.217;437.167;561.264  
2022-04-21T17:45:00.000Z;20.461;54.913;402.934;561.503  
2022-04-21T17:46:00.000Z;20.405;54.284;530.023;565.496  
2022-04-21T17:47:00.000Z;20.699;54.414;432.883;559.15  
2022-04-21T17:48:00.000Z;20.699;54.6;580.304;560.394  
2022-04-21T17:49:00.000Z;20.797;54.801;436.237;567.15  
2022-04-21T17:50:00.000Z;20.023;55.305;446.966;564.123  
2022-04-21T17:51:00.000Z;20.53;55.932;431.849;570.462  
2022-04-21T17:52:00.000Z;20.362;55.302;542.368;581.15  
2022-04-21T17:53:00.000Z;19.967;56.156;408.296;575.229  
2022-04-21T17:54:00.000Z;20.378;54.966;432.093;576.555  
2022-04-21T17:55:00.000Z;20.586;56.257;516.212;575.136  
2022-04-21T17:56:00.000Z;20.517;55.698;537.418;582.87  
2022-04-21T17:57:00.000Z;20.191;55.723;561.512;570.289  
2022-04-21T17:58:00.000Z;20.149;54.986;394.499;562.294  
2022-04-21T17:59:00.000Z;20.49;54.766;438.407;560.317  
2022-04-21T18:00:00.000Z;20.672;54.751;553.823;550.94

2022-04-21T18:01:00.000Z;20.56;54.94;533.414;543.619  
2022-04-21T18:02:00.000Z;20.603;54.151;259.003;549.111  
2022-04-21T18:03:00.000Z;20.629;56.133;682.519;669.361  
2022-04-21T18:04:00.000Z;20.392;56.048;592.551;670.263  
2022-04-21T18:05:00.000Z;20.784;55.753;816.318;685.082  
2022-04-21T18:06:00.000Z;20.741;55.865;550.234;677.205  
2022-04-21T18:07:00.000Z;20.378;56.257;576.861;677.249  
2022-04-21T18:08:00.000Z;20.392;55.984;658.648;677.078  
2022-04-21T18:09:00.000Z;20.led;56.349;565.362;671.027  
2022-04-21T18:10:00.000Z;20.546;55.714;601.831;654.853  
2022-04-21T18:11:00.000Z;20.405;56.413;538.524;651.185  
2022-04-21T18:12:00.000Z;19.967;56.298;660.909;628.343  
2022-04-21T18:13:00.000Z;20.023;56.373;660.975;625.715  
2022-04-21T18:14:00.000Z;20.023;55.534;328.915;625.285  
2022-04-21T18:15:00.000Z;20.079;56.052;690.937;632.794  
2022-04-21T18:16:00.000Z;20.474;55.987;585.607;634.348  
2022-04-21T18:17:00.000Z;20.362;55.959;565.119;625.372  
2022-04-21T18:18:00.000Z;19.996;57.951;650.604;662.355  
2022-04-21T18:19:00.000Z;20.066;56.696;574.806;644.482  
2022-04-21T18:20:00.000Z;20.122;56.748;406.966;642.848  
2022-04-21T18:21:00.000Z;20.293;56.614;594.847;635.01  
2022-04-21T18:22:00.000Z;19.673;56.89;525.928;650.179  
2022-04-21T18:23:00.000Z;19.772;56.403;572.055;645.817  
2022-04-21T18:24:00.000Z;20.109;55.393;574.049;639.839  
2022-04-21T18:25:00.000Z;20.052;57.195;658.874;638.544  
2022-04-21T18:26:00.000Z;19.996;57.241;532.149;641.035  
2022-04-21T18:27:00.000Z;20.221;59.078;622.978;656.64  
2022-04-21T18:28:00.000Z;20.784;58.463;824.879;1076.406  
2022-04-21T18:29:00.000Z;20.784;59.045;982.878;1241.761  
2022-04-21T18:30:00.000Z;20.886;58.656;779.109;1355.543  
2022-04-21T18:31:00.000Z;20.797;62.631;856.384;1494.472  
2022-04-21T18:32:00.000Z;20.715;67.337;840.639;1648.701  
2022-04-21T18:33:00.000Z;20.699;65.087;820.665;1742.815  
2022-04-21T18:34:00.000Z;21.lis;66.091;892.69;2031.716  
2022-04-21T18:35:00.000Z;20.728;64.273;851.33;1962.013  
2022-04-21T18:36:00.000Z;20.49;65.541;740.268;2020.125  
2022-04-21T18:37:00.000Z;20.854;65.353;764.415;1951.972  
2022-04-21T18:38:00.000Z;21.054;68.347;689.784;2034.65  
2022-04-21T18:39:00.000Z;21.054;76.295;801.734;2196.617  
2022-04-21T18:40:00.000Z;20.643;70.878;857.583;2333.985  
2022-04-21T18:41:00.000Z;21.081;70.306;642.127;2307.072  
2022-04-21T18:42:00.000Z;21.249;67.591;633.405;2171.935  
2022-04-21T18:43:00.000Z;21.361;68.055;490.205;1941.82  
2022-04-21T18:44:00.000Z;20.448;65.684;615.707;1916.877  
2022-04-21T18:45:00.000Z;20.53;67.076;627.981;1951.645  
2022-04-21T18:46:00.000Z;21.166;71.171;591.105;1790.624  
2022-04-21T18:47:00.000Z;21.518;73.931;685.327;1867.351  
2022-04-21T18:48:00.000Z;21.137;74.752;614.957;2064.547

2022-04-21T18:49:00.000Z;21.617;75.843;513.477;2083.423  
2022-04-21T18:50:00.000Z;21.772;76.41;650.718;2075.49  
2022-04-21T18:51:00.000Z;21.374;72.769;544.942;1975.199  
2022-04-21T18:52:00.000Z;21.318;71.281;464.919;1948.463  
2022-04-21T18:53:00.000Z;21.011;69.418;530.017;1849.4  
2022-04-21T18:54:00.000Z;21.123;64.233;649.208;1924.937  
2022-04-21T18:55:00.000Z;20.926;70.546;549.794;1868.802  
2022-04-21T18:56:00.000Z;21.291;61.984;592.177;1637.956  
2022-04-21T18:57:00.000Z;21.081;61.294;452.952;1475.125  
2022-04-21T18:58:00.000Z;21.417;61.563;390.857;1339.8  
2022-04-21T18:59:00.000Z;21.361;62.675;491.859;1363.669  
2022-04-21T19:00:00.000Z;21.673;63.288;438.473;1347.5  
2022-04-21T19:01:00.000Z;20.955;60.955;556.781;1269.461  
2022-04-21T19:02:00.000Z;21.038;62.739;525.21;1262.054  
2022-04-21T19:03:00.000Z;21.179;67.135;615.125;1302.928  
2022-04-21T19:04:00.000Z;20.998;62.914;594.893;1327.981  
2022-04-21T19:05:00.000Z;21.631;71.731;533.315;1505.853  
2022-04-21T19:06:00.000Z;21.166;68.498;547.691;1517.72  
2022-04-21T19:07:00.000Z;21.179;70.947;575.765;1664.056  
2022-04-21T19:08:00.000Z;20.56;65.472;503.645;1604.428  
2022-04-21T19:09:00.000Z;21.011;65.888;584.105;1563.25  
2022-04-21T19:10:00.000Z;20.573;67.875;581.523;1574.78  
2022-04-21T19:11:00.000Z;21.115;72.885;504.575;1677.352  
2022-04-21T19:12:00.000Z;20.827;69.889;576.897;1834.831  
2022-04-21T19:13:00.000Z;20.643;63.641;551.421;1656.118  
2022-04-21T19:14:00.000Z;20.448;63.592;530.964;1635.875  
2022-04-21T19:15:00.000Z;20.266;63.293;429.262;1511.576  
2022-04-21T19:16:00.000Z;20.504;59.521;511.244;1372.808  
2022-04-21T19:17:00.000Z;20.234;59.988;664.364;1259.026  
2022-04-21T19:18:00.000Z;20.418;63.188;1070.727;1409.336  
2022-04-21T19:19:00.000Z;20.405;63.308;837.401;1737.047  
2022-04-21T19:20:00.000Z;20.517;62.295;982.782;1862.397  
2022-04-21T19:21:00.000Z;20.603;62.072;831.016;1933.223  
2022-04-21T19:22:00.000Z;20.659;62.649;892.081;2008.539  
2022-04-21T19:23:00.000Z;20.448;63.316;759.722;2081.779  
2022-04-21T19:24:00.000Z;20.955;61.45;1007.508;2099.16  
2022-04-21T19:25:00.000Z;20.306;61.782;1045.569;2033.952  
2022-04-21T19:26:00.000Z;20.53;61.988;624.969;2007.421  
2022-04-21T19:27:00.000Z;20.886;60.859;768.852;1939.014  
2022-04-21T19:28:00.000Z;19.911;60.679;773.056;1852.583  
2022-04-21T19:29:00.000Z;19.954;59.889;705.358;1779.847  
2022-04-21T19:30:00.000Z;19.673;59.815;735.089;1673.749  
2022-04-21T19:31:00.000Z;19.924;61.294;574.139;1628.192  
2022-04-21T19:32:00.000Z;20.234;60.963;760.177;1558.528  
2022-04-21T19:33:00.000Z;19.967;61.418;566.165;1548.304  
2022-04-21T19:34:00.000Z;19.996;59.399;869.074;1514.2  
2022-04-21T19:35:00.000Z;20.052;61.541;566.86;1433.089  
2022-04-21T19:36:00.000Z;20.079;60.34;679.658;1353.788

2022-04-21T19:37:00.000Z;19.954;61.311;581.45;1301.821  
2022-04-21T19:38:00.000Z;19.924;60.465;706.611;1281.943  
2022-04-21T19:39:00.000Z;20.079;60.125;612.138;1210.082  
2022-04-21T19:40:00.000Z;19.996;60.908;754.557;1215.346  
2022-04-21T19:41:00.000Z;20.266;63.549;767.698;1321.278  
2022-04-21T19:42:00.000Z;20.672;61.645;796.943;1572.898  
2022-04-21T19:43:00.000Z;20.306;60.214;785.519;1668.805  
2022-04-21T19:44:00.000Z;20.191;62.121;756.931;1686.674  
2022-04-21T19:45:00.000Z;20.109;62.177;837.975;1678.227  
2022-04-21T19:46:00.000Z;20.335;61.715;850.953;1635.786  
2022-04-21T19:47:00.000Z;19.716;61.807;810.647;1674.086  
2022-04-21T19:48:00.000Z;20.546;61.878;722.46;1661.388  
2022-04-21T19:49:00.000Z;20.418;60.081;745.574;1585.115  
2022-04-21T19:50:00.000Z;20.448;60.374;550.432;1543.449  
2022-04-21T19:51:00.000Z;20.207;61.572;668.639;1464.525  
2022-04-21T19:52:00.000Z;19.954;59.544;704.036;1423.23  
2022-04-21T19:53:00.000Z;19.911;58.427;787.736;1344.444  
2022-04-21T19:54:00.000Z;19.924;59.594;735.471;1286.764  
2022-04-21T19:55:00.000Z;19.673;58.762;714.931;1209.229  
2022-04-21T19:56:00.000Z;19.617;59.06;785.581;1182.98  
2022-04-21T19:57:00.000Z;20.293;59.834;473.105;1117.346  
2022-04-21T19:58:00.000Z;19.516;58.589;722.112;1106.934  
2022-04-21T19:59:00.000Z;20.036;60.085;590.558;1139.909  
2022-04-21T20:00:00.000Z;20.279;58.564;770.869;1114.429  
2022-04-21T20:01:00.000Z;19.812;58.74;592.553;1085.96  
2022-04-21T20:02:00.000Z;19.828;59.971;712.738;1042.811  
2022-04-21T20:03:00.000Z;19.996;58.866;507.833;1079.86  
2022-04-21T20:04:00.000Z;20.109;59.486;742.418;1091.102  
2022-04-21T20:05:00.000Z;20.715;59.326;566.529;1174.389  
2022-04-21T20:06:00.000Z;20.474;60.871;583.318;1188.051  
2022-04-21T20:07:00.000Z;20.293;58.413;716.472;1186.39  
2022-04-21T20:08:00.000Z;20.392;59.019;548.727;1215.075  
2022-04-21T20:09:00.000Z;20.755;59.246;577.649;1190.768  
2022-04-21T20:10:00.000Z;21.193;61.718;704.3;1181.779  
2022-04-21T20:11:00.000Z;21.446;58.367;593.501;1108.711  
2022-04-21T20:12:00.000Z;21.374;58.946;667.584;1060.597  
2022-04-21T20:13:00.000Z;20.87;61.422;819.996;1511.266  
2022-04-21T20:14:00.000Z;20.56;60.835;977.472;1557.172  
2022-04-21T20:15:00.000Z;20.84;61.581;712.474;1502.515  
2022-04-21T20:16:00.000Z;21.137;61.614;657.898;1473.691  
2022-04-21T20:17:00.000Z;20.191;60.594;791.707;1408.893  
2022-04-21T20:18:00.000Z;20.56;60.104;800.631;1390.095  
2022-04-21T20:19:00.000Z;20.998;59.255;556.299;1270.972  
2022-04-21T20:20:00.000Z;20.109;59.539;658.364;1200.494  
2022-04-21T20:21:00.000Z;19.716;57.952;570.568;1144.652  
2022-04-21T20:22:00.000Z;19.785;59.141;568.415;1067.095  
2022-04-21T20:23:00.000Z;20.109;58.611;337.965;1063.619  
2022-04-21T20:24:00.000Z;19.855;58.625;695.797;973.834

2022-04-21T20:25:00.000Z;20.247;59.878;662.428;927.967  
2022-04-21T20:26:00.000Z;19.94;58.322;550.63;864.807  
2022-04-21T20:27:00.000Z;20.811;60.818;603.906;889.949  
2022-04-21T20:28:00.000Z;20.84;58.813;558.398;862.106  
2022-04-21T20:29:00.000Z;20.854;59.678;557.626;841.293  
2022-04-21T20:30:00.000Z;20.685;59.188;451.712;927.762  
2022-04-21T20:31:00.000Z;20.771;60.02;678.853;908.986  
2022-04-21T20:32:00.000Z;20.643;59.283;673.512;941.534  
2022-04-21T20:33:00.000Z;21.15;60.157;628.79;910.807  
2022-04-21T20:34:00.000Z;20.771;60.461;680.872;901.834  
2022-04-21T20:35:00.000Z;20.84;59.129;557.564;892.418  
2022-04-21T20:36:00.000Z;21.476;56.751;653.246;874.959  
2022-04-21T20:37:00.000Z;20.672;56.771;627.705;839.167  
2022-04-21T20:38:00.000Z;21.278;59.26;625.999;847.847  
2022-04-21T20:39:00.000Z;21.46;62.054;787.979;871.422  
2022-04-21T20:40:00.000Z;20.474;58.63;482.565;839.2  
2022-04-21T20:41:00.000Z;20.659;58.694;636.373;834.29  
2022-04-21T20:42:00.000Z;20.715;60.296;619.412;914.72  
2022-04-21T20:43:00.000Z;20.968;62.602;631.406;1003.183  
2022-04-21T20:44:00.000Z;20.926;59.536;514.202;975.018  
2022-04-21T20:45:00.000Z;20.755;57.54;443.526;875.601  
2022-04-21T20:46:00.000Z;20.56;58.404;978.328;1180.528  
2022-04-21T20:47:00.000Z;20.926;58.749;683.086;1126.828  
2022-04-21T20:48:00.000Z;20.827;58.56;846.243;1085.152  
2022-04-21T20:49:00.000Z;20.84;58.692;799.932;1049.786  
2022-04-21T20:50:00.000Z;20.504;58.198;754.515;993.833  
2022-04-21T20:51:00.000Z;20.643;57.435;701.258;988.442  
2022-04-21T20:52:00.000Z;20.827;58.47;659.776;948.581  
2022-04-21T20:53:00.000Z;20.629;57.989;722.588;900.472  
2022-04-21T20:54:00.000Z;21.054;62.782;1071.414;1117.296  
2022-04-21T20:55:00.000Z;21.687;61.096;935.329;1563.632  
2022-04-21T20:56:00.000Z;21.193;59.475;967.948;1527.529  
2022-04-21T20:57:00.000Z;20.755;58.634;818.061;1530.701  
2022-04-21T20:58:00.000Z;21.222;60.438;922.569;1501.048  
2022-04-21T20:59:00.000Z;21.911;60.909;732.493;1429.862  
2022-04-21T21:00:00.000Z;21.374;59.174;857.289;1434.019  
2022-04-21T21:01:00.000Z;21.054;58.025;800.771;1411.262  
2022-04-21T21:02:00.000Z;20.784;58.781;735.532;1385.91  
2022-04-21T21:03:00.000Z;20.926;58.795;1000.336;1305.635  
2022-04-21T21:04:00.000Z;21.123;60.061;790.375;1272.261  
2022-04-21T21:05:00.000Z;20.968;60.433;891.118;1296.917  
2022-04-21T21:06:00.000Z;20.517;58.102;755.852;1205.277  
2022-04-21T21:07:00.000Z;20.912;58.015;816.362;1224.717  
2022-04-21T21:08:00.000Z;20.672;57.406;872.674;1178.164  
2022-04-21T21:09:00.000Z;20.685;58.514;863.294;1172.595  
2022-04-21T21:10:00.000Z;20.784;57.864;697.561;1143.966  
2022-04-21T21:11:00.000Z;20.49;56.941;864.798;1092.221  
2022-04-21T21:12:00.000Z;21.334;59.619;906.846;1037.536



2022-04-21T21:13:00.000Z;20.84;58.222;904.121;1054.563  
2022-04-21T21:14:00.000Z;21.318;59.026;807.509;1013.313  
2022-04-21T21:15:00.000Z;20.349;62.631;1074.015;1091.257  
2022-04-21T21:16:00.000Z;21.206;61.691;1270.901;1758.353  
2022-04-21T21:17:00.000Z;21.094;62.8;1265.481;1788.277  
2022-04-21T21:18:00.000Z;20.546;60.308;987.577;1740.888  
2022-04-21T21:19:00.000Z;20.109;60.15;1179.449;1649.022  
2022-04-21T21:20:00.000Z;20.378;60.69;944.367;1586.692  
2022-04-21T21:21:00.000Z;20.797;60.752;1021.294;1538.833  
2022-04-21T21:22:00.000Z;20.87;60.61;901.798;1481.962  
2022-04-21T21:23:00.000Z;20.955;60.882;969.161;1410.831  
2022-04-21T21:24:00.000Z;20.955;62.763;1179.021;1446.49  
2022-04-21T21:25:00.000Z;21.278;62.844;1095.467;1881.661  
2022-04-21T21:26:00.000Z;20.784;62.579;969.084;1888.851  
2022-04-21T21:27:00.000Z;21.617;63.359;1122.185;2107.851  
2022-04-21T21:28:00.000Z;21.262;63.304;1230.704;2209.753  
2022-04-21T21:29:00.000Z;21.588;64.373;1221.696;2293.886  
2022-04-21T21:30:00.000Z;20.811;65.757;1451.245;2497.104  
2022-04-21T21:31:00.000Z;21.067;65.24;1282.522;2623.645  
2022-04-21T21:32:00.000Z;21.166;64.21;1219.225;2662.703  
2022-04-21T21:33:00.000Z;20.926;63.519;1220.916;2592.497  
2022-04-21T21:34:00.000Z;21.179;64.584;982.063;2586.126  
2022-04-21T21:35:00.000Z;21.166;64.613;1210.161;2563.779  
2022-04-21T21:36:00.000Z;20.53;62.306;1016.33;2487.434  
2022-04-21T21:37:00.000Z;21.024;64.512;832.608;2449.998  
2022-04-21T21:38:00.000Z;20.586;63.6;803.557;2367.691  
2022-04-21T21:39:00.000Z;20.474;61.086;838.7;2216.445  
2022-04-21T21:40:00.000Z;20.135;63.536;652.568;2111.238  
2022-04-21T21:41:00.000Z;20.207;61.839;1010.581;2105.653  
2022-04-21T21:42:00.000Z;20.797;62.181;797.334;2039.017  
2022-04-21T21:43:00.000Z;20.191;59.399;997.548;1907.81  
2022-04-21T21:44:00.000Z;20.715;62.997;829.354;1839.729  
2022-04-21T21:45:00.000Z;21.137;61.779;1005.468;1817.416  
2022-04-21T21:46:00.000Z;20.335;59.892;786.996;1729.928  
2022-04-21T21:47:00.000Z;21.193;61.306;737.419;1681.094  
2022-04-21T21:48:00.000Z;21.262;62.615;925.655;1648.977  
2022-04-21T21:49:00.000Z;21.249;61.459;654.98;1542.503  
2022-04-21T21:50:00.000Z;21.235;61.559;1058.989;1590.324  
2022-04-21T21:51:00.000Z;20.755;59.695;673.253;1642.805  
2022-04-21T21:52:00.000Z;21.361;63.064;1007.972;1648.263  
2022-04-21T21:53:00.000Z;21.024;59.115;760.584;1578.937  
2022-04-21T21:54:00.000Z;20.998;63.079;714.632;1577.647  
2022-04-21T21:55:00.000Z;21.348;61.271;791.149;1531.404  
2022-04-21T21:56:00.000Z;21.262;61.976;697.431;1502.531  
2022-04-21T21:57:00.000Z;20.797;59.265;665.567;1424.603  
2022-04-21T21:58:00.000Z;21.179;61.416;690.03;1363.276  
2022-04-21T21:59:00.000Z;21.206;60.598;758.447;1304.196  
2022-04-21T22:00:00.000Z;21.lis;60.058;657.572;1267.202

2022-04-21T22:01:00.000Z;21.123;60.122;695.749;1200.926  
2022-04-21T22:02:00.000Z;21.094;59.962;762.587;1124.863  
2022-04-21T22:03:00.000Z;21.15;60.331;506.963;1075.52  
2022-04-21T22:04:00.000Z;20.955;60.391;857.363;1015.46  
2022-04-21T22:05:00.000Z;21.081;58.985;867.235;983.93  
2022-04-21T22:06:00.000Z;21.038;59.677;665.861;907.796  
2022-04-21T22:07:00.000Z;20.886;58.12;779.467;813.339  
2022-04-21T22:08:00.000Z;21.137;59.692;602.533;743.73  
2022-04-21T22:09:00.000Z;21.137;59.486;622.182;683.421  
2022-04-21T22:10:00.000Z;20.968;59.141;549.427;658.456  
2022-04-21T22:11:00.000Z;20.998;59.165;475.605;642.782  
2022-04-21T22:12:00.000Z;20.926;59.339;578.214;654.698  
2022-04-21T22:13:00.000Z;20.84;59.535;606.992;635.918  
2022-04-21T22:14:00.000Z;20.685;59.695;718.659;618.919  
2022-04-21T22:15:00.000Z;20.643;58.68;570.253;590.332  
2022-04-21T22:16:00.000Z;21.123;60.276;569.984;576.766  
2022-04-21T22:17:00.000Z;20.741;58.282;573.404;533.481  
2022-04-21T22:18:00.000Z;20.293;54.778;510.174;525.91  
2022-04-21T22:19:00.000Z;19.911;55.909;591.936;499.342  
2022-04-21T22:20:00.000Z;19.924;55.123;513.186;499.26  
2022-04-21T22:21:00.000Z;20.362;55.763;501.564;500  
2022-04-21T22:22:00.000Z;20.247;54.467;574.664;500  
2022-04-21T22:23:00.000Z;19.855;54.572;509.421;498.55  
2022-04-21T22:24:00.000Z;19.855;54.189;573.495;500  
2022-04-21T22:25:00.000Z;20.066;54.972;540.565;502.006  
2022-04-21T22:26:00.000Z;20.149;54.67;612.296;502.214  
2022-04-21T22:27:00.000Z;20.279;54.35;565.681;510.67  
2022-04-21T22:28:00.000Z;20.362;54.482;619.239;497.688  
2022-04-21T22:29:00.000Z;20.322;54.444;575.159;500  
2022-04-21T22:30:00.000Z;20.854;55.041;634.07;514.213  
2022-04-21T22:31:00.000Z;20.827;55.332;766.776;501.588  
2022-04-21T22:32:00.000Z;21.038;56.143;534.585;500.314  
2022-04-21T22:33:00.000Z;21.067;56.17;528.058;504.059  
2022-04-21T22:34:00.000Z;21.235;56.623;617.914;499.991  
2022-04-21T22:35:00.000Z;21.024;54.574;480.721;504.67  
2022-04-21T22:36:00.000Z;20.942;55.012;568.201;503.018  
2022-04-21T22:37:00.000Z;21.011;53.764;666.822;498.654  
2022-04-21T22:38:00.000Z;21.206;55.959;563.485;502.954  
2022-04-21T22:39:00.000Z;21.235;55.232;613.891;505.859  
2022-04-21T22:40:00.000Z;21.024;54.051;580.236;511.29  
2022-04-21T22:41:00.000Z;21.024;56.019;582.833;507.745  
2022-04-21T22:42:00.000Z;21.318;55.563;561.739;508.852  
2022-04-21T22:43:00.000Z;21.374;56.382;632.512;508.091  
2022-04-21T22:44:00.000Z;21.334;55.566;501.313;500.567  
2022-04-21T22:45:00.000Z;21.361;56.239;631.095;500  
2022-04-21T22:46:00.000Z;21.15;55.032;541.414;504.497  
2022-04-21T22:47:00.000Z;21.318;55.969;479.706;515.533  
2022-04-21T22:48:00.000Z;21.262;55.511;452.825;496.978

2022-04-21T22:49:00.000Z;20.998;54.405;532.856;504.982  
2022-04-21T22:50:00.000Z;21.166;54.618;439.41;509.995  
2022-04-21T22:51:00.000Z;21.166;54.597;662.183;505.797  
2022-04-21T22:52:00.000Z;21.067;54.385;419.339;502.661  
2022-04-21T22:53:00.000Z;21.15;55.096;468.815;500  
2022-04-21T22:54:00.000Z;21.137;54.34;507.127;502.67  
2022-04-21T22:55:00.000Z;21.15;55.109;461.065;501.025  
2022-04-21T22:56:00.000Z;20.56;52.233;563.268;1031.043  
2022-04-21T22:57:00.000Z;20.715;53.324;693.817;1492.219  
2022-04-21T22:58:00.000Z;20.629;53.487;553.491;1683.646  
2022-04-21T22:59:00.000Z;20.586;54.17;670.886;1699.555  
2022-04-21T23:00:00.000Z;20.771;54.362;496.06;1715.403  
2022-04-21T23:01:00.000Z;20.659;53.283;595.021;1683.004  
2022-04-21T23:02:00.000Z;20.685;52.807;526.839;1576.978  
2022-04-21T23:03:00.000Z;20.517;53.492;564.435;1476.802  
2022-04-21T23:04:00.000Z;20.49;53.739;637.399;1375.808  
2022-04-21T23:05:00.000Z;20.672;53.822;606.423;1331.635  
2022-04-21T23:06:00.000Z;20.715;54.276;626.287;1267.125  
2022-04-21T23:07:00.000Z;20.603;53.722;594.173;1144.791  
2022-04-21T23:08:00.000Z;20.659;53.7;569.218;1047.339  
2022-04-21T23:09:00.000Z;20.728;54.157;640.567;975.085  
2022-04-21T23:10:00.000Z;20.771;53.814;507.694;929.367  
2022-04-21T23:11:00.000Z;20.586;53.744;662.557;857.633  
2022-04-21T23:12:00.000Z;20.586;53.732;484.963;828.71  
2022-04-21T23:13:00.000Z;20.616;53.375;756.939;756.495  
2022-04-21T23:14:00.000Z;20.715;54.037;706.447;688.829  
2022-04-21T23:15:00.000Z;20.392;52.107;606.754;658.394  
2022-04-21T23:16:00.000Z;20.517;52.187;551.42;631.875  
2022-04-21T23:17:00.000Z;20.573;53.021;490.086;634.591  
2022-04-21T23:18:00.000Z;20.546;53.594;622.228;629.563  
2022-04-21T23:19:00.000Z;20.461;52.947;660.999;610.176  
2022-04-21T23:20:00.000Z;20.629;53.629;500.937;605.831  
2022-04-21T23:21:00.000Z;20.603;53.091;614.458;600.841  
2022-04-21T23:22:00.000Z;20.573;52.702;596.524;591.508  
2022-04-21T23:23:00.000Z;20.728;53.567;572.097;583.685  
2022-04-21T23:24:00.000Z;20.461;52.619;671.686;573.411  
2022-04-21T23:25:00.000Z;20.741;53.974;525.853;578.008  
2022-04-21T23:26:00.000Z;20.586;53.492;670.089;570.531  
2022-04-21T23:27:00.000Z;20.659;52.999;520.531;575.373  
2022-04-21T23:28:00.000Z;20.629;53.411;543.538;562.493  
2022-04-21T23:29:00.000Z;20.586;52.999;519.608;555.786  
2022-04-21T23:30:00.000Z;20.49;52.569;597.948;546.077  
2022-04-21T23:31:00.000Z;20.672;53.187;561.107;553.911  
2022-04-21T23:32:00.000Z;20.586;53.535;714.573;553.977  
2022-04-21T23:33:00.000Z;20.474;52.503;646.975;562.89  
2022-04-21T23:34:00.000Z;20.392;53.013;520.374;549.159  
2022-04-21T23:35:00.000Z;20.53;53.439;622.164;540.163  
2022-04-21T23:36:00.000Z;20.349;52.462;648.402;518.643

2022-04-21T23:37:00.000Z;20.418;52.583;635.359;527.396  
2022-04-21T23:38:00.000Z;20.461;52.761;374.154;524.719  
2022-04-21T23:39:00.000Z;20.517;53.327;587.221;518.716  
2022-04-21T23:40:00.000Z;20.434;52.265;555.357;527.823  
2022-04-21T23:41:00.000Z;20.418;52.833;596.361;522.844  
2022-04-21T23:42:00.000Z;20.546;54.087;667.385;523.57  
2022-04-21T23:43:00.000Z;20.448;54.06;685.466;500  
2022-04-21T23:44:00.000Z;20.517;53.634;603.46;503.368  
2022-04-21T23:45:00.000Z;20.378;52.683;511.477;507.931  
2022-04-21T23:46:00.000Z;20.392;52.848;519.786;505.29  
2022-04-21T23:47:00.000Z;20.53;54.203;571.507;511.104  
2022-04-21T23:48:00.000Z;20.293;52.792;497.202;501.638  
2022-04-21T23:49:00.000Z;20.234;52.816;507.813;500  
2022-04-21T23:50:00.000Z;20.266;52.601;592.401;508.943  
2022-04-21T23:51:00.000Z;20.448;53.996;557.653;512.734  
2022-04-21T23:52:00.000Z;20.474;54.185;575.19;511.345  
2022-04-21T23:53:00.000Z;20.504;54.124;557.005;511.607  
2022-04-21T23:54:00.000Z;20.378;54.038;692.607;502.518  
2022-04-21T23:55:00.000Z;20.322;53.342;629.395;509.461  
2022-04-21T23:56:00.000Z;20.266;52.375;673.244;512.386  
2022-04-21T23:57:00.000Z;20.322;52.807;587.337;509.656  
2022-04-21T23:58:00.000Z;20.434;54.234;569.977;503.244  
2022-04-21T23:59:00.000Z;20.405;53.716;580.284;500.864

## Příloha B - Analýza nákladů a přínosů BIM modelování

### 2a - Úvodní strana



**ANALÝZA NÁKLADŮ A PŘÍNOSŮ METODY BIM**

Společnost RINA Consulting S.p.A (dále „RINA“) a její subdodavatel, skupina B1P, nesou odpovědnost za realizaci smlouvy o dílo GRO-SME-F-101 „Metodika analýzy nákladů a přínosů využití informačního modelování staveb ve veřejných zakázkách“ přidělené Výkonnou agenturou Evropské rady pro inovace a pro malé a střední podniky (EISMEA) jednající z pověření Evropské komise. Dílo je financováno z příspěvků programu Evropské unie COSME. Na realizaci smlouvy dohlížel k tomu ustanovený „poradní výbor“ složený ze zástupců Evropské komise, agentury EISMEA a pracovní skupiny EU pro BIM (EUBIMTG).

Realized by


**RINA** **BTP GROUP**

In collaboration with




**EU BIM**

Berte prosím na vědomí, že nástroj je prototypu experimentální povahy, který se poskytuje „TAK, JAK JE“. V maximálním možném rozsahu povoleném příslušnými zákony neposkytuje společnost Rina Consulting S.p.A. ani její subdodavatel žádnou záruku jakéhokoliv druhu ohledně tohoto nástroje, ať už výslovně či implicitovaně včetně, bez omezení, záruk ohledně neporušení předpisů, vlastnického práva, možnosti patentování, obchodovatelnosti či vhodnosti ke konkrétnímu účelu a záruk vyplývajících ze zvyklostí, obchodního využití, příslušných, příkladů či popisů; veškeré takové záruky společnost Rina Consulting S.p.A. a její subdodavatel výslovně vylučují a uživatel nástroje se jich vzdává. Uživatel nástroje přijímá veškerou odpovědnost související s používáním nástroje a související s veškerými případnými následky vyplývajícími z takového použití. Společnost Rina Consulting S.p.A. a její subdodavatel odmítají veškerou odpovědnost vůči uživateli nástroje a/nebo vůči třetí straně za přímé a/nebo nepřímé škody včetně, bez omezení, ztráty a/nebo poškození dat, užijí zisk, ztráty úspor, náhodných, zvláštních nebo následných škod utrpěných uživatelem nástroje a/nebo třetími stranami v souvislosti s tímto použitím.

## 2b - Vstupní hodnoty

Inputs					
<p>Následující seznam otázek byl vytvořen za účelem zjištění informací nezbytných pro výpočet nákladů a přínosů zavedení informačního modelování staveb v zakázkách veřejných organizací. Snímky zjištěné informace se týkají veřejné organizace (částečně se týkají stavebního projektu a analyzovaného projektu). Otázky byly navrženy tak, aby tento nástroj mohl být využit organizací s různými úrovněmi zkušenosti s informačním modelováním staveb (tj. bez zkušenosti) a získat potřebný přehled o nákladech a přínosech.</p> <p><i>Odpovězte prosím na následující otázky a do prázdných míst doplňte požadované informace (šedé buňky prosím NEVYPLŇUJTE). Není-li uvedeno jinak, jsou všechny otázky povinné.</i></p>					
PŘEDBĚŽNÉ VŠEOBECNÉ INFORMACE	1	Niže prosím uveďte požadované informace popisující zkušenosti vaší organizace s informačním modelováním staveb.	<div style="background-color: #0070c0; color: white; padding: 5px; text-align: center; border: 1px solid #0070c0;">Clear cells content</div>		
	1.1	Má již vaše organizace s informačním modelováním staveb zkušenosti (zahájila pilotní projekt s použitím informačního modelování staveb či jej dokončila)?		Yes	
	1.2	V kolika projektech průměrně ročně se informační modelování staveb uplatňuje?		3	
	1.3	U kolika projektů v průměru ročně by se dala metoda BIM použít (platí pro případ, kdy vaše organizace nemá předchozí zkušenosti s informačním modelováním staveb)?			
	2.1	Zvolte prosím, zda se analyzovaný projekt týká nové stavby, nebo práce na již existující budově/infrastrukturní stavbě (renovace, rekonstrukce apod.).		New asset construction	
	2.2	Týká-li se projekt práce na již existující budově, je již k dispozici model pro BIM?		Yes	
	3	Niže prosím uveďte stávající nebo odhadovanou vyšší nákladových položek (v €) k výpočtu celkové investice do projektu.			
	3.1	Náklady fáze navrhování a přípravy stavby		25000 €	
	3.2	Náklady fáze provádění stavby		50000 €	
	4.1	Z rozbalovací nabídky prosím vyberte plánovaný počet let fáze provádění stavby. V případě, že je stávající doba trvání fáze uvedena v částech let, zvolte počet let, který odpovídá zaokrouhlení na nejbližší celé číslo.		2	
	4.2	Z rozbalovací nabídky prosím vyberte počet let od zahájení plánování projektu po dokončení návrhu stavby a následně zahájení fáze provádění stavby. V případě, že je stávající doba trvání fáze uvedena v částech let, zvolte počet let, který odpovídá zaokrouhlení na nejbližší celé číslo.		2	
	5.1	Kolik pracovníků vaší organizace se do činnosti spojených s informačním modelováním staveb zapojuje? (Osoby, které potřebují a/nebo budou potřebovat školení BIM a/nebo pracují se softwarem pro BIM, technici, architekti, inženýři, specialisté nákupu apod.)		5	
	5.2	Kolik pracovníků vaší organizace se do informačního modelování staveb může zapojit, pokud se metoda BIM v projektech uplatňuje? (Osoby, které mohou potřebovat školení BIM, osoby, které budou pracovat se softwarem pro BIM, technici, architekti, inženýři, specialisté nákupu apod.)			
	INFORMACE K VYPRACOVÁNÍ INFORMAČNÍHO MODELU STAVBY	6		Uveďte prosím hrubou podlahovou plochu projektu (v m <sup>2</sup> ), pokud je předmětem projektu budova nebo infrastrukturní stavba zahrnující/obsahující budovy ve svém perimetru, v opačném případě nechte prostor prázdný. Hrubá podlahová plocha (GFA) je tvořena součtem podlahových ploch všech prostor v budově bez výjmky; v zásadě odpovídá celkové ploše ohraničené obvodem vnějších stěn.	260 m <sup>2</sup>
		7		Uveďte prosím hodnotu ukazatele roční náklady na údržbu stavby u příslušného projektu. Jestliže tuto informaci nemáte k dispozici a nedokážete ji odhadnout, ponechte prosím buňku prázdnou. V tomto případě nebude nástroj odhadovat náklady a přínosy zavedení informačního modelování staveb ve fázi „Provoz a údržba“.	25000 €
8		Uveďte prosím, zda zavedení informačního modelování staveb vyžaduje najmutí externích poradců pro koordinaci těchto činností, nebo zda budou tento úkol plnit interní zaměstnanci organizace.	BIM coordination carried out internally		
9		Uveďte prosím hodnotu ukazatele průměrný roční plat pracovníka vaší organizace (€).	30000 €		
10		Uplatní se v projektu společné datové prostředí (CDE)? Zvolte-li „Ne“, nebudou přiděleny žádné náklady na CDE.	Yes		
11		Uveďte prosím míru inflace v průběhu realizace projektu (%).	6%		
12		Z níže uvedených možností prosím zvolte úroveň podrobnosti/projektování (LOD podle BIMForum.org) požadovanou ve výběrovém řízení (vybírejte z dostupných možností odpovídajících číslu možnosti, tedy 1 až 3). 1 - ZÁKLADNÍ NÁVRH - LOD 200 2 - PODROBNÝ NÁVRH - LOD 350 3 - DIGITÁLNÍ DVOJICE - LOD 450/500	3		
13		Podle výběrového řízení prosím zvolte z níže uvedených možností příslušnou kategorii stavby (vyberte odpovídající číslo kategorie, tedy 1, 2, nebo 3). 1 - INFRASTRUKTURNÍ STAVBA 2 - BUDOVA 3 - SMÍŠENÁ (infrastruktura zahrnující ve své oblasti rovněž budovy, které musí být modelovány)	2		
14		Uveďte prosím průměrné hodinové náklady na BIM manažera (v €).	50		
<p>Následující kapitoly „ARCHITEKTURA A KONSTRUKCE“ a „TECHNICKÉ SYSTÉMY“ vyplňte pouze v případě, kdy je uvedena kategorie stavby „BUDOVA“ nebo „SMÍŠENÁ“. V případě „SMÍŠENÉ“ kategorie vyplňte prosím kapitoly „ARCHITEKTURA A KONSTRUKCE“ a „TECHNICKÉ SYSTÉMY“ pouze s ohledem na budovy, které jsou součástí infrastruktury; níže naleznete kapitolu věnovanou konkrétně oblasti infrastruktury a jejích systémů, která nezahrnuje budovy.</p>					
15		V níže uvedené kapitole prosím uveďte, zda se stavba skládá z ploch jednotlivých kategorií, a zvolte jejich příslušný průměrný stupeň složitosti podle škály zobrazené po kliknutí na tlačítko „F“. „Plochou“ se rozumí plochy místností, fasád nebo stěch (viz příklad v příručce).	(i)		
15	Vyberte prosím Ano / Ne k vyjádření výskytu oblastí navrhovaných povrchů a uveďte průměrný stupeň složitosti každé kategorie.	(i)			

ARCHITEKTURA A KONSTRUKCE	<table border="1"> <tr> <th>Kategorie povrchové plochy</th> <th>Vyberte: Ano / Ne</th> <th>Uveďte úroveň složitosti každé přítomné kategorie plochy.</th> </tr> <tr> <td>Surface &lt; 25 m<sup>2</sup></td> <td><input type="checkbox"/> Yes</td> <td><input type="text" value="2"/></td> </tr> <tr> <td>25 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 150 m<sup>2</sup></td> <td><input type="checkbox"/> Yes</td> <td><input type="text" value="2"/></td> </tr> <tr> <td>150 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 300 m<sup>2</sup></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>Surface &gt; 300 m<sup>2</sup></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> </table>	Kategorie povrchové plochy	Vyberte: Ano / Ne	Uveďte úroveň složitosti každé přítomné kategorie plochy.	Surface < 25 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="text" value="2"/>	25 m <sup>2</sup> < Surface < 150 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="text" value="2"/>	150 m <sup>2</sup> < Surface < 300 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	Surface > 300 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>	
	Kategorie povrchové plochy	Vyberte: Ano / Ne	Uveďte úroveň složitosti každé přítomné kategorie plochy.														
Surface < 25 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="text" value="2"/>															
25 m <sup>2</sup> < Surface < 150 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/> Yes	<input type="text" value="2"/>															
150 m <sup>2</sup> < Surface < 300 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>															
Surface > 300 m <sup>2</sup>	<input type="checkbox"/>	<input type="text"/>															
16	<p>Uveďte prosím počet ploch v každé kategorii plochy.</p> <table border="1"> <tr> <th>Počet ploch</th> </tr> <tr> <td>27</td> </tr> <tr> <td>2</td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> <tr> <td></td> </tr> </table>	Počet ploch	27	2													
Počet ploch																	
27																	
2																	
17	<p>Uveďte prosím průměrnou úroveň standardizace (1, 2, 3) pro plochy stavby podle škály, kterou lze zobrazit kliknutím na tlačítko „i“.</p> <input type="text" value="3"/>																
TECHNICKÉ VYBAVENÍ	<p>V kapitole níže prosím uveďte u příslušného projektu výskyt navrhovaných systémů (zvolením možnosti Ano / Ne) a úroveň složitosti každého systému podle škály, kterou lze zobrazit kliknutím na tlačítko „i“.</p> <p>Dále prosím vyberte z navrhovaných rozsahů ploch obsluhovaných jednotlivými technickými systémy (vyplňte prosím pouze bílé buňky).</p>																
	18	<p><b>Větrání a vytápění/chlazení</b></p> <input type="checkbox"/> Yes															
		<p>Uveďte prosím úroveň složitosti systému. <span style="float: right;">i</span></p> <input type="text" value="2"/>															
		<p>Uveďte prosím velikost plochy obsluhované systémem pro větrání a vytápění/chlazení volbou odpovídajícího čísla od 1 do 5.</p> <p>1 - Surface &lt; 400 m<sup>2</sup>  2 - 400 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 1500 m<sup>2</sup>  3 - 1500 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 3000 m<sup>2</sup>  4 - 3000 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 5000 m<sup>2</sup>  5 - Surface &gt; 5000 m<sup>2</sup></p> <input type="text" value="1"/>															
	19	<p><b>Zdravotnětechnické instalace</b></p> <input type="checkbox"/> Yes															
	<p>Uveďte prosím úroveň složitosti systému. <span style="float: right;">i</span></p> <input type="text" value="1"/>																
	<p>Uveďte prosím velikost plochy obsluhované zdravotnětechnickými instalacemi volbou odpovídajícího čísla od 1 do 5.</p> <p>1 - Surface &lt; 400 m<sup>2</sup>  2 - 400 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 1500 m<sup>2</sup>  3 - 1500 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 3000 m<sup>2</sup>  4 - 3000 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 5000 m<sup>2</sup>  5 - Surface &gt; 5000 m<sup>2</sup></p> <input type="text" value="1"/>																
20	<p><b>Rozvody elektroinstalace a osvětlení</b></p> <input type="checkbox"/> Yes																
	<p>Uveďte prosím úroveň složitosti systému. <span style="float: right;">i</span></p> <input type="text" value="3"/>																
	<p>Uveďte prosím velikost plochy obsluhované rozvody elektroinstalace a osvětlením volbou odpovídajícího čísla od 1 do 5.</p> <p>1 - Surface &lt; 400 m<sup>2</sup>  2 - 400 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 1500 m<sup>2</sup>  3 - 1500 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 3000 m<sup>2</sup>  4 - 3000 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 5000 m<sup>2</sup>  5 - Surface &gt; 5000 m<sup>2</sup></p> <input type="text" value="1"/>																
21	<p><b>Ostatní systémy (protipožární a bezpečnostní systémy, systémy pro medicínální plyny apod.).</b></p> <input type="checkbox"/> Yes																
	<p>Uveďte prosím úroveň složitosti systémů. <span style="float: right;">i</span></p> <input type="text" value="1"/>																
	<p>Uveďte prosím velikost plochy obsluhované zvláštními systémy volbou odpovídajícího čísla od 1 do 5.</p> <p>1 - Surface &lt; 400 m<sup>2</sup>  2 - 400 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 1500 m<sup>2</sup>  3 - 1500 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 3000 m<sup>2</sup>  4 - 3000 m<sup>2</sup> &lt; Surface &lt; 5000 m<sup>2</sup>  5 - Surface &gt; 5000 m<sup>2</sup></p> <input type="text" value="1"/>																
<p>Následující kapitoly „PLOŠNÝ ROZSAH A SYSTÉMY“ vyplňte pouze v případě, kdy je uvedena kategorie stavby „INFRASTRUKTURNÍ STAVBA“ nebo „SMÍŠENÁ“. V případě „SMÍŠENÉ“ stavby vyplňte prosím tuto kapitolu bez ploch a technických systémů přidružených k budově, která je součástí této infrastruktury, jejíž informace již byly poskytnuty ve výše uvedené kapitole.</p>																	
INFRASTRUKTURA	22	<p>V této kapitole věnované pouze stavbám, které byly označeny jako „INFRASTRUKTURNÍ STAVBA“ nebo „SMÍŠENÉ“, prosím uveďte požadované informace. Pamatujte prosím, že do šedých buněk se nesmí uvádět žádná čísla/informace.</p> <p>Uveďte prosím celkovou plochu infrastruktury (v m<sup>2</sup>).</p> <input type="text"/> m <sup>2</sup>															
		<p>Uveďte prosím úroveň složitosti infrastruktury stavby podle škály zobrazené kliknutím na tlačítko „i“.</p> <input type="text"/>															
	<p>Pomocí možnosti Ano / Ne uveďte výskyt následujících systémů, jejich úroveň složitosti podle škály zobrazené kliknutím na tlačítko „i“ a plochu obsluhovanou každým systémem (pamatujte prosím, že šedé buňky se nevyplňují).</p>																
STAVBY	23	<p><b>Větrání a vytápění/chlazení</b></p> <input type="checkbox"/>															
		<p>Uveďte prosím úroveň složitosti systému pro větrání a vytápění/chlazení. <span style="float: right;">i</span></p> <input type="text"/>															
	<p>Uveďte prosím velikost plochy obsluhované těmito systémy (v m<sup>2</sup>).</p> <input type="text"/> m <sup>2</sup>																

24	Venkovní potrubí
<input type="text"/>	
Uveďte prosím úroveň složitosti potrubní sítě. 	
<input type="text"/>	
Uveďte prosím velikost plochy obsluhované potrubní sítí (v m <sup>2</sup> ).	
<input type="text"/>	m <sup>2</sup>
25	Rozvody elektroinstalace a osvětlení
<input type="text"/>	
Uveďte prosím úroveň složitosti elektrických rozvodů a osvětlení. 	
<input type="text"/>	
Uveďte prosím velikost plochy obsluhované elektrickými rozvody a osvětlením (v m <sup>2</sup> ).	
<input type="text"/>	m <sup>2</sup>
26	Ostatní systémy (protipožární a bezpečnostní systémy, systémy pro medicínální plyny apod.).
<input type="text"/>	
Uveďte prosím úroveň složitosti zvláštních systémů. 	
<input type="text"/>	
Uveďte prosím velikost plochy obsluhované zvláštními systémy (v m <sup>2</sup> ).	
<input type="text"/>	m <sup>2</sup>

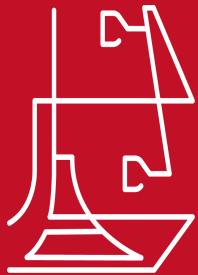












## Results

Zvolte scénář, který se má v analýze brát v potaz (střední odhad - optimistický odhad, pesimistický odhad)

Optimistic Estimate

### VÝSLEDKY ÚROVNÍ BIM

#### ÚROVEŇ BIM 1

Benefit-Cost Ratio (poměr přínosů a nákladů)	1,06
Net Present Value (čistá současná hodnota) (€)	2 255
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	2,09
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	129 391

BIM direct expenses during construction phase:

Náklady na informační model stavby (€)	-
Náklady na informační model stavby (€)	10 281

Podle jednotlivých fází:

Plánování a navrhování	-
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	21 251
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	-

Provádění stavby

Ekonomický poměr přínosů a nákladů	9,67
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	179 692

Provoz a údržba

Ekonomický poměr přínosů a nákladů	0,80
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	18 125

#### ÚROVEŇ BIM 2

Benefit-Cost Ratio (poměr přínosů a nákladů)	1,69
Net Present Value (čistá současná hodnota) (€)	81 068
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	2,76
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	208 204

Přímé výdaje na BIM:

Náklady na informační model stavby (€)	-
Náklady na koordinaci informačního modelování stavby (€)	1 250

Podle jednotlivých fází:

Plánování a navrhování	0,67
Ekonomický poměr přínosů a nákladů	8 856
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	-

Provádění stavby

Ekonomický poměr přínosů a nákladů	13,90
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	183 002

Provoz a údržba

Ekonomický poměr přínosů a nákladů	1,61
Economic Net Present Value (ekonomická čistá současná hodnota) (€)	55 995