

Széchenyi István Egyetem

**Energia központ fűtéstechnikájának felmérése
lézerszkennerrel és annak 3D-s jel kiértékelése
pontfelhőből.**

Tudományos Diákköri Munka

Készítette:

Waldmann Szilárd

Mechatronikai mérnöki BSc. hallgató

Témavezető: **Dr. Fecser Nikolett**

Egyetemi Docens

2022.11.04.

Kivonat

A lézerszkennelés egy korszerű technológia, amely elősegíti az ipari adatgyűjtést, és lehetővé teszi részletgazdag, nagy pontosságú 3D-s modellek létrehozását különféle létesítmények és azok szakági rendszereinek esetében.

Az eljárás során a lézersugár visszaverődik a kívánt felületről, annak távolságát méri, aminek eredményeképp egy több tízmillió pontból álló pontfelhő keletkezik. Ezt a pontfelhőt szoftveres támogatással elemzik ki, hogy műszaki 3D-s modell készüljön belőle.

A lézerszkennelés széles körben alkalmazott módszer az építőiparban, bányászatban, autóiparban és az energetikai szektorban, mivel az adatgyűjtés és a tervezési folyamatok adatigényeinek kiszolgálása soha nem látott gyorsaságot nyert általa.

A technológia folyamatosan fejlődik, így manapság már mobil és drón alapú eszközök is elérhetőek, illetve a mesterséges intelligencia is mindennapi szinten támogatja a pontfelhők kiértékelését különböző módszerekkel.

Dolgozatomban egy energiaközpont lézerszkennelését, a szkennelés geodéziai támogatását és a jelek kiértékelését vizsgálom, egészen addig, amíg a fűtéstechnikai rendszerről egy 3D-s modell nem készül. A modell kiértékelését a MicroStation és LuArtXCarF szoftverek segítségével végzem el.

Ez a módszer biztosította, hogy a végső eredmény megfeleljen a megrendelő által előírt konzisztencia-vizsgálatoknak, valamint a szakmai követelményeknek, így alapot adva a további tervezési folyamatokhoz.

Tartalom

1. Bevezetés	1
2. Lézerszkennelés technológiája a fizikai térben	2
2.1. Geodéziai aspektusok a lézerszkennelésben	3
2.2. A működési elv és annak folyamata a lézerszkennerekénél	4
2.3. Adatkinyerés és az adatok feldolgozása	4
2.4. A dokumentáció lézerszkennelési eljárás során	7
2.5. „Virtual factory” mint fogalom és a 3D-s modellezéshez kapcsolódó projektmenedzsment feladatai	9
2.6. Projektmenedzsment feladati a „Virtuális gyár”-ban.....	10
3. Műszaki modellek 3D-s megvalósítása	12
3.1. 3D-s műszaki szakági tervezés előnyei	12
3.2. Kötelezően előírt felhasználandó szoftver	13
3.3. Kötelezően előírt felhasználói környezet, azaz az „Enviroment”	15
4. Energia központ fűtéstechikájának 3D-s modellezése.....	16
4.1. Geodéziai szakági vezetés.....	17
4.2. A fűtéstechikai rendszer kötelezően előírt modellezendő rendszerei és azok elemei ...	18
4.3. Előírt modellezési irányelvek.....	19
5. A fűtéstechikai rendszer gyakorlati modellezése	21
5.1. Modellezési funkciók a fűtéstechikai modulban	21
5.2. Előírt vizsgálatok a kész modellt tekintve.....	25
6. Projekt összegzése	27

1. Bevezetés

Dolgozatomban egy olyan ipari precíziós adatgyűjtést és annak kiértékelését szeretném bemutatni, amely alkalmazási szempontból napjainkban már ipari gyakorlat, azonban a nagyközönség előtt még mindig csak részben vagy egyáltalán nem ismert.

A műszaki világban ma már teljesen természetes, hogy olyan 3D-s kiértékelést kapjon egy megrendelő az ipari létesítményéről és azoknak rendszereiről, ami egy Lézerszkennelő által gyűjtött adathalmaz 3D-s végterméke.

A dolgozat végig követi egy németországi energiaközpont lézerszkennelését és annak a fűtéstechikájának a megvalósulásának a 3D-s kiértékelését.

Ez a fejlődő technika korábban soha nem látott gyorsasággal képes rendkívül pontos topográfiai adatokat gyűjteni és a szoftveres világ rengeteg lehetőség biztosít ezeknek az adatoknak a megfelelő kiértékelésére. Mivel felhasználása a korábbi módszertanokhoz képest sokall kiterjedtebb, számtalan olyan helyről is képes adatot szolgáltatni, ahol korábban ez rendkívül nehézkes vagy balesetveszélyes volt.

A lézerszkennelés végterméke a pontfelhő, amely egy több százmillió pont sűrűségű célkoordináta halmaz, amelyből könnyen azonosíthatók különböző épületgépészeti rendszerek geometriai méretei.

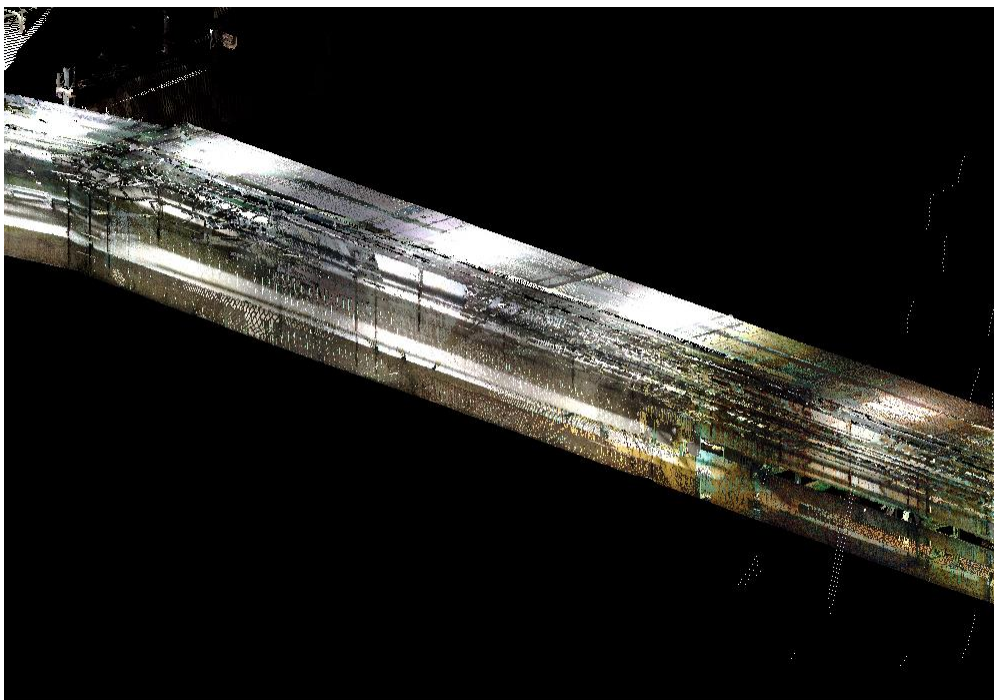
A pontfelhőből megfelelő helyszíni dokumentációval könnyen készíthető olyan 3D-s modell, amely műszaki megközelítésből kielégítő alapot biztosít arra, hogy bármely létesítmény épületgépészeti rendszereit tovább lehessen tervezni.

2. Lézerszkennelés technológiája a fizikai térben

Térbeli adatnyerés egyik legkorszerűbb módja a lézerszkennelés technológiája. Pontosságát tekintve messze meghaladja a többi térbeli adatkinyerési módszertant és sokkal részletesebb reprezentációját nyújtja a felmért létesítményeknek, esetlegesen földtani képződményeknek. Végterméke az úgynevezett pontfelhő, amely segítségével rekonstruálni tudjuk a felmért objektumokat. A pontfelhő lényegében egy olyan adathalmaz, amely több százmillió pontot tartalmaz és ezek a pontok egyben cél koordináták is. [1,3]

Mai nagyobb beruházások esetén sokszor jelentkezik egy olyan 3D-s megvalósulásra igény, amely egyrészt reprezentálja a megvalósult állapotot, másrészt pedig egy olyan adatbázist biztosít, amelynek segítségével képesek vagyunk az adott létesítmény tovább tervezésére, folyamatos műszaki aktualizálására. A lézerszkennelés egy folyamatosan fejlődő technológia, amely története során rengeteg innováción esett át és alapot szolgáltat a BIM és GIS tervezésekhez és modellezési feladatokhoz. [1,3]

A felmért területről vagy létesítményről már egyetlen felmérési fázis is korábban elképzelhetetlen mennyiségű adatbázist bocsájt rendelkezésre. Ez az adatbázis, szoftveres támogatással kellő alapinformációt biztosít ahhoz, hogy egy műszaki 3D-s modell alapja legyen. Egy lézerszkennelt földalatti közműalagút össze fűzött pontfelhőjét az 1. ábra mutatja meg. [1,3]



1.ábra. Pontfelhők egy lézerszkennelt közműalagútról

2.1. Geodéziai aspektusok a lézerszkennelésben

A lézerszkennер működése során gömbpanorámás fényképeket készít, amelyből tetszőlegesen mérhetőek geometriai méretek. Jellegüket tekintve ezek a gömbpanorámás képek, fénykép jellegűek, rendelkeznek 3D-s koordinátákkal, amelyek napjainkban pontosságot tekintve megfelelnek az 1-2mm-es pontossági osztálynak.

Távérzékelési eljárások közül, az aktív eljárások sorát erősítik működésüket tekintve a lézerszkennерrel végrehajtott műveletek. Megkülönböztetünk úgynevezett statikus eljárásokat és manapság egyre gyakrabban kerülnek alkalmazásra az úgynevezett dinamikus megközelítések is. Ennek oka, hogy a technológiai fejlődés következtében, léteznek mozgó lézerszkennerek és egyre népszerűbb a drón alapú lézerszkennelés is. [4,10]

Drón alapú lézerszkennerekkel egyrészt sokkal nagyobb területet vagyunk képesek szkennelni mint a statikus eljárásokkal, másrészt hozzáférést nyújtanak olyan területekhez, amelyek rendkívül balesetveszélyesek vagy nehezen hozzáférhetőek. [4,10]

Lézerszkennelés során kihagyhatatlan kérdés az is, hogy maga a felmérés milyen jellegű geodéziai támogatással zajlik. Illetve az, hogy milyen jellegű koordináta rendszerbe történik a pontfelhők regisztrációja. Ha nincsenek különösebb követelmények akkor lehet egyéni úgynevezett „ad hoc” rendszereket alkalmazni, ilyen esetben nincs megadott kezdőpont se meghatározott mérési irány. [10]

Jelentősebb létesítmények vagy üzemek esetén a megrendelő sokszor megköveteli, hogy az általa meghatározott lokális rendszerbe regisztráljuk a pontfelhőket.

Természetesen ezeknek a rendszereknek a kezdőpontja már korábban meghatározásra került és irányuk is ismert.[10]

Földtani képződmények lézerszkennelésékor szinte mindig, de nagyon sok másik esetben is előírás az, hogy az országos vetületi rendszer legyen a mérvadó a mérési folyamatainkat tekintve.[10]

2.2. A működési elv és annak folyamata a lézerszkennereknél

Elmondható, hogy működési elvet tekintve a lézerszkennerek teljesen hasonlóan működnek, mint a geodéziában ismert mérőállomások. A különbség itt abban rejlik, hogy míg a geodéziai mérőállomások egy-egy pontot mérnek, addig a lézerszkennerek egy állás során több milliót. [5,6]

Működésük során az elektronikus távolságmérés műszaki kritériumait és az optikai trianguláció elvét alkalmazzák. A műszer kibocsájt egy lézersugarat és ennek segítségével megméri a távolságot a felület és a műszer között. [5,6]

Ezzel párhuzamosan a sugár vízszintes és magassági szöge is rögzítésre kerül, így a lézersugár helyzete adottá válik. Ezeknek az adatoknak a segítségével már könnyedén meghatározhatóak a mérendő pont 3D-s koordinátái, amelyek természetesen már egyben célkoordináták is. [5,6]

Néhány esetben, ha a fényviszonyok nem kielégítőek a 3D-s adatnyeréshez, akkor az intenzitás fogja meghatározni a pontfelhő megjelenítését, ami lényegében a visszaverődött jelerősség mértéke. Ennek az erősségét mindig a felület ismérvei határozzák meg, mint például annak anyaga vagy pedig a színe. [5,6]

A szkennelési pontosság attól is függ, hogy a megrendelő milyen jellegű kritériumokat ír elő és milyen műszaki előírásoknak kell megfelelni, illetve, hogy a pontfelhőből kinyert 3D-s modell milyen funkciót fog betölteni a jövőt tekintve. [5,6]

A hatótávolság függ attól, hogy mennyire kell részletgazdag adatbázis a felmért létesítményről, de általánosságban elmondható, hogy a szkennelési távolság 60 cm-től napjainkban már 400-500 méterig is terjedhet. [5,6]

2.3. Adatkinyerés és az adatok feldolgozása

Lézerszkennelés során több 100 millió pont kiértékelésével képesek vagyunk olyan geometriai méreteket meghatározni, amelyek segítségével modellezni tudunk egy aktuális állapotot az álltalunk felmért létesítményről vagy objektumról. [1,3]

A szkennelt felületek segítségével megtudunk jeleníteni egy olyan 3D-s modellt, amely a valóságnak megfelelő és reprezentálja annak méreteit, nagyban segítve ezzel a további tervezési módszertanok lehetőségeinek kivitelezését. [1,3]

A 3D-s rajzokból szoftveres támogatással akár 2D-s rajzok is készíthetők megfelelő formátumban, a meghatározott igényeknek megfelelően. [1,3]

Egy megbízás során a szkennelési módszert tekintve rengeteg műszerállás kerül felvételre. A műszerállások során rögzített pontfelhőket, az úgynevezett pontfelhő „gömb”-öket természetesen valamilyen módon összekell fűzni, ezt az összefűzési eljárást pedig a pontfelhők regisztrálásának nevezzük. Minden állás során meghatározásra kerülnek az úgynevezett illesztőpontok, amelynek feltétele, hogy egy -egy illesztőpont, amely egyben célkoordináta is több állásból látható legyen. Ugyanazt a pontfelhőt, amely az energiaközpontban készült, kétféle exportban a 2.ábra mutatja meg. [1,3]



2.ábra. Pontfelhő kétféle színexportban

Igy ezeknek a látható pontoknak az illesztésével egymásra illeszthetőek a pontfelhők, mivel ezek a pontok több pontfelhőben is megjelennek. Ha kijelölünk közvetlen entitásokat, amelynek a pontjai ismertek, akkor ezeknek a segítségével is megvalósítható az összefűzés. [1,3]

Egymáshoz illesztett pontfelhőket felülnézetből a 3. ábra mutat meg.



3. ábra. Egymáshoz illesztett pontfelhők egy energia központban

A gyakorlatban azonban úgynevezett „Target”-eket alkalmaznak a szakemberek, amelyek lényegében olyan célkoordináták, amelyek fizikailag is megjelennek egy-egy szkennelés során.

Ezek lényegében bármilyen keresztábrázolások lehetnek, amelyek felragasztható papírokon vagy fóliákon kerülnek rögzítésre. Ezeket a létesítményben úgy kell elhelyezni, hogy minél több szkennelésből is jól látható legyen a kívánt felületeken. [1,3]

Természetesen ezeket a „Target”-eket szintén megfelelő módszertannal kell létrehozni, hogy könnyen tudjuk őket azonosítani. Ha a mérés és a szkennelés lokális koordináta

rendszerben történik, akkor gondoskodni kell arról, hogy a geodéziai illesztőpontok szintén kiszámításra kerüljenek és integrálva legyenek a rendszerbe, még a pontfelhők regisztrálása előtt. A regisztrálás az illesztőpontok felhasználásával, az előírásoknak megfelelően kell, hogy lebonyolódjon. [1,3]

A geodézia szakág gondoskodik arról, hogy az illesztőpontok bemérése műszakilag helyes legyen és illeszkedjen a felhasznált globális koordinátarendszer kritériumaihoz.

Az alappontoknak a létesítését, bemérését geodéziai szakember végzi el, aki a létesített alappontok segítségével további pontsűrítést fog végezni. A geodéziai mérőállomás alkalmas arra, hogy a fent említett eljárásokat megfelelően elvégezze. A végeredményt tekintve ilyen X,Y,Z koordináták meghatározására alkalmas a geodéziai célú és pontossággal működő GPS is. [1,3]

2.4. A dokumentáció lézerszkennelési eljárás során

Szoftveres kiértékeléssel egy kellően sűrű és pontos pontfelhőből kinyerhető egy olyan megvalósulási dokumentáció, amely szinte bármilyen további tervezési eljáráshoz megfelelő adathalmazt biztosít. [4,6]

Egy 3D-ben modellezett fűtésechnikai osztógyűjtőről dokumentált metszetet és a hozzátartozó pontfelhőt felülnézetben a 4. és 5. ábra mutatja meg.



4. ábra. Egy 3D-ben modellezett fűtésechnikai osztógyűjtő és a hozzátartozó pontfelhő

A szkenek segítségével a megfelelő geometriai méretek szoftveres kiértékelése után egyaránt végezhető például: hossz és keresztmetszvények műszaki megvalósítása, felülnézeti alaprajzok készítése. Készíthetők továbbá: közműterképek nyomvonaltervének ábrázolása és annak dokumentálása, földtömeg és térfogat számítások elvégzése, szintvonalas térképek készítése földtani képződményekből. [4,6]

A panoráma képek egyben geometriai adatokat is tartalmaznak, amelyek tetszőlegesen ráfeszíthetők a megfelelő pontfelhőre. [4,6]

Szken állományok adatbázisait természetesen mindig megfelelően kell keltezni, mert mindig egy adott állapot műszaki paramétereit tartalmazza. [4,6]

Egy gömbpanorámás fényképet, amelyen látható a többi pontfelhő origója is, az 5. ábra mutatja meg.



5.ábra. Gömbpanorámás kép egy energiaközpontban

A nevezett állományok. közbenső és vég archiválás céljaira is ragyogóan felhasználhatók. Ha esetlegesen vitás kérdések keletkeznek a kivitelezést tekintve, például megrendelő és kivitelező között, akkor ezek az állományok mindig reprezentálják, hogy az adott fázisban a kivitelezés milyen szakaszban volt. [4,6]

Belátható, hogy a fentiekben írtak nagyon nagy segítséget biztosítanak, amikor a határidőket tekintve a kivitelezési állapot nem felelt meg a határidőhöz kötött kívánalmaknak. Ez sok esetben segít rendezni a jogi útra terelt vitás kérdéseket is. [4,6]

Mivel a szkenekhez rendelt gömbpanorámás képek méretarány helyesek és fotó minőségben tükrözik a létesítmények állapotát, ezért a további tervezési folyamatok projektmegbeszéléseinek elhagyhatatlan kellékei. A pontfelhőkből épületgépészeti kivitelezési tervek minőségi követelményeinek megfelelő dokumentációk is készíthetők, bármely szakági rendszernek megfelelően. [4,6]

2.5. „Virtual factory” mint fogalom és a 3D-s modellezéshez kapcsolódó projektmenedzsment feladatai

A fejlődő informatikai világban nagyjából az ezredforduló előtt pár évvel sikerült olyan szoftveres és hardveres környezetet előállítani, amely alkalmas volt arra, hogy a valóságnak bizonyos megközelítésből többé-kevésbé megfeleljen és annak bizonyos szegmenseit szimulálja. [7]

Az autókonszernek voltak ennek a módszertannak az úttörői és fogalmazták meg először azt az igényt önmagukkal szemben, hogy létesítményeikről mindig egy aktualizálható 3D-s modell álljon rendelkezésre. [7]

Természetesen ez a folyamat hosszú volt, ameddig kialakították a megfelelő infrastruktúrát és egyáltalán lefektették annak a modellezési környezetnek az alapjait, amit később napi szinten integráltak a tervezési és megvalósulási folyamataikba.

A projekt sikerét mutatja, hogy mára már minden német autógyárnak van olyan integrálható felhasználói szoftveres környezete, amelyben szerepel egy olyan struktúra, amely összegzi az álltaluk kívánt irányelveket és kritériumait.

Ezeknek a kritériumoknak a saját felhasználású 3D-s modelljeik mind megfelelnek és integráns részét képezik minden megvalósulási dokumentációjuknak, amelyek létesítményeikről készülnek. [7,8]

A „Virtual Factory” intézménye lényegében nem jelent mást, mint azt, hogy ezeknek a vállalatoknak az összes létesítményükről és annak felépítményiről, gyártósoráról rendelkezésre áll egy aktuális 3D-s modell. Ehhez kialakítottak egy egyénileg definiált felhasználói környezetet, amely a mindennapi tervezési folyamatokat segíti. [7,8]

Szabványosított elképzeléseket és ennek megfelelő 3D-s struktúrákat állnak rendelkezésre és természetesen alap elvárás, hogy ezeket az előre definiált irányelveket minden külső tervező és belső egyaránt alkalmazza. Manapság kisebb cégek is, amik egy-egy gyárteleppel vagy létesítménnyel rendelkeznek törekszenek arra, hogy saját maguknak is kialakítsanak egy hasonló környezetet. Itt is kiemelt elképzelés, hogy olyan specifikus adathalmazi struktúrákat hozzanak létre, amely az ő elsődleges kívánalmainak megfelelőek. [7,8]

Ami ezekben az elképzelésekben többé-kevésbé közös, az a módszertan, hogyha bármiféle felújítás vagy bővítés beruházás történik egy-egy létesítményen belül, akkor végig egy egységes rendszernek megfelelően történjen a teljes munkafolyamat. A kivitelezés alapjául szolgáló dokumentációjától kezdve kivitelezés teljes megvalósulásáig. [7,8]

A beruházási folyamatokat az új információ kezelési stratégiának megfelelően az üzem projektmenedzsmentje természetesen végig kíséri és felügyeli mindaddig, ameddig az előírt beruházási folyamat véget nem ér. [7,8]

2.6. Projektmenedzsment feladati a „Virtuális gyár”-ban

Az erre szakosodott osztálynak a feladata szerteágazó és többféle szintje, illetve alosztálya van. Az osztálynak követnie kell egy beruházás teljes folyamatát a kivitelezés megkezdésétől a megvalósulás végéig. [7,8]

Amennyiben a kivitelezés egy már létező létesítmény, mondjuk felújításának keretein belül történik, akkor a szükséges dokumentációkat, adatbázisokat, korábbi 3D-s megvalósulásokat, műszaki szakági 3D-s terveket rendelkezésre kell bocsájtani. A kivitelezés különböző szakaszairól folyamatosan dokumentációkat kell bekérni és ellenőrizni, hogy az megfelel-e a műszaki kívánalmaknak és az előre definiált felhasználói szoftveres környezetnek. [7,8]

A kivitelezési fázisokhoz tartozó projektmegbeszélésekhez a prezentációkat szintén a már meglévő vagy időközben keletkezett 3D-s modellekből a menedzsmentnek kell elkészítenie. Ezekben definiálni kell a hatékonysági mutatókat, szűk keresztmetszeteket, amelyek a teljes 3D-s tervezési fázist jellemzik. [7,8]

A kapott adatokat és dokumentációkat a gyár különböző egységeivel egyeztetni kell és az erőforrásokat ennek megfelelően célirányosan koordinálni. Ha eljutott a beruházás a megvalósulási fázisig, akkor természetesen arról megfelelő 3D-s dokumentációt kell készíteni, a szkeneket időrend szerint iktatni, hogy a jövőben vitás kérdéseket ezek segítségével rendezni lehessen. [7,8]

A megfelelő tervirányú dokumentáció garantálja azt, hogy a jövőbeli beruházásokhoz kellő műszaki alapot biztosítson a menedzsment és maximálisan kiszolgálja azt. [7,8]

3. Műszaki modellek 3D-s megvalósítása

Azt az adatállományt, amely magában foglalja a térbeli síkoknak a kiterjedését és méreteit, illetve elemeinek a geometriai méreteit és pozícióját, amelyet a modellünk integráns részeként határozunk meg, azt az adatállományt 3D-s modellnek hívjuk. [2,8]

3.1. 3D-s műszaki szakági tervezés előnyei

3D-s modellek tulajdonsága, hogy nekünk kedvező perspektivikus nézetben tudjuk megjeleníteni a kívánt adathalmazt, valamint 2D-s elődekkel szemben a műszaki tervezés a tér minden irányában biztosított. [2,8]

Megfelelő referenciálási módszertannal számos olyan összefüggésre rámutatnak, amelyet amúgy egy 2D-s felülnézeti modellből nem lennénk képesek műszaki szempontból meghatározni. Mivel egy tervezési folyamat során épületgépészeti megközelítésből rengeteg szakági tervezés zajlik párhuzamosan egy létesítmény kivitelezése során, ezért indokolt, hogy időről-időre ezeket a 3D-s állapotokat összevegyük. [2,8]

Ennek oka az, hogy vannak bizonyos tervezési irányelvek, aminek meg kell felelni a tervezési folyamatok során, ezek egyrészt szabvány által meghatározottak, másrészt sokszor a helyszín adta egyéni sajátosságok miatt kell figyelembe venni őket. [2,8]

Sokszor csak utólagosan derülnének ki, hogyha különböző szakágak terve szerint épülnének meg a helyszínen a rendszerek, akkor nem férnének el egymás mellett és ütközést generálnának, hiába felelnek meg egyenként a tervezési irányelveknek. Így, ha folyamatosan aktuális állapotok állnak rendelkezésre 3D-s formátumban, akkor ezeket könnyen összevethetőek és kollízió mentesen lehetséges tervezni valós időben. [2,8]

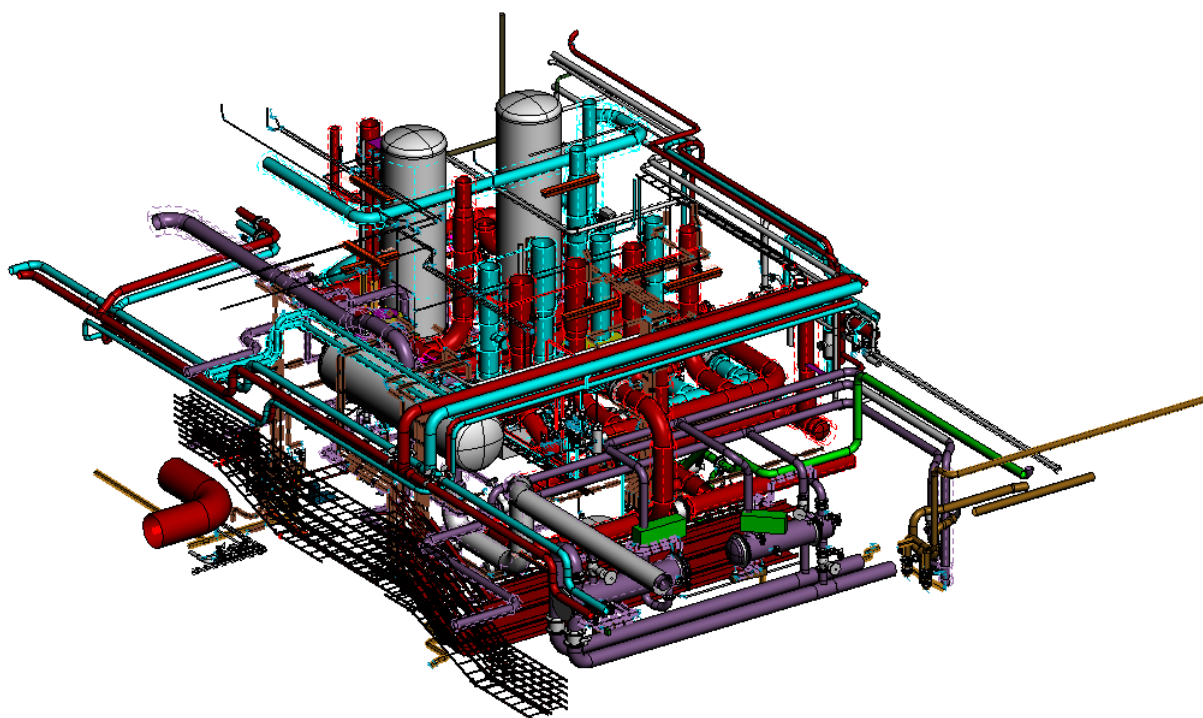
Ez egyrészt sokkal hatékonyabb projektkövetést és tervezést biztosít, másrészt jelentősen növeli a költséghatékonyságot a hozzáértő modellező kezében, valamint sokszorosan meggyorsítja a tervezési folyamatokat. [2,8]

Ma már egységesen elmondható az is, hogy a megrendelők a különböző irányelveken kívül, külön-külön meghatározzák azt, hogy a 3D-s modell elemeinek az adatbankjai milyen jellegű információkat tároljanak. [2,8]

Ezeket az adatbanki információkat a megrendelők folyamatosan aktualizálják, illetve a tervezési folyamatok során rendelkezésre is bocsájtják. [2,8]

Ezek azért lényeges metódusok, mert például a különböző épületgépészeti rendszerek esetében a szerelvények adatmaszkjába felvihetők a műszaki paramétereiken kívül olyan jellegű információk, hogy milyen alkatrészeket cseréltek rajtuk vagy mikor lettek utoljára karbantartva. [2,8]

Az általam modellezett Energiaközpont összes épületgépészeti szakágát egy 3D-s modellben a 6. ábra mutatja meg.



6. ábra. Összes épületgépészeti szakág 3D-s modellje egy energiaközpontban

3.2. Kötelezően előírt felhasználandó szoftver

Rengeteg szoftver áll rendelkezésre napjainkban, amelyek kiszolgálják a 3D-s modellezés minden aspektusát. Az általam modellezett energetikai központban található fűtéstechnikára a megrendelő a LuArtX 3D CarF szoftvert írta elő, mint modellezési környezetet.

Ez a szoftver nem parancsalapú, hanem különböző eszköztárakat képes megjeleníteni és ezek segítségével el tudjuk végezni a különböző műveleteket.

Az épületgépészeti szakági rendszereket a szoftver úgynevezett médiumonként definiálja és egy-egy ilyen médium megnyitása után elérhetőek a szakághoz tartozó különböző rétegstruktúrák.

A réteg lényegében meghatározza azt, hogy a médiumon belül a nyomvonal, amit éppen rajzolunk milyen funkciót tölt be, milyen anyagnak biztosítja a közegáramlását. Ezt, a tervezés előtt kötelezően ki kell választani, egy médiumon belül képesek vagyunk rétegeket változtatni azonban médiumok között már nem.

Sok esetben tartalmaz még más jellegű a modellezett elem közegére jellemző információkat is. Ezek az információk például: milyen hőfokú a közeg, előre vagy visszamenő ág, vagy esetlegesen megmutatja, hogy milyen mértékű az előírt nyomás, ami az általunk modellezett közegre jellemzően kötelező érvényű.

Egyszerre csakis egy médium használható a kívánt 3D-s modellben, ennek oka az, hogy a tervezés során az épületgépészeti szakági rendszereket külön tervezik és egy tervben csak egy szakághoz tartozó modell elemeket és rétegeket szabad alkalmazni.

A médium rétegtiosztásában is természetesen csak egy fajta rendszerhez tartozó rétegek találhatóak, amely rétegeken belül további tulajdonságokat tudunk definiálni. Ilyen például elsődlegesen az, hogy a rendszer strukturális felépítményei milyen anyagból készülnek.

A szakági médiumhoz külön dinamikus eszköztár is tartozik, amivel különböző manipulációs műveleteket vagyunk képesek véghez vinni.

Az úgynevezett „toolbox”-ok, amelyek lényegében a parancsikonokat funkciójuk szerint rendezik egy panelba, kedvünkre eltüntethetőek vagy előhívhatóak. Minden médiumhoz tartozik egy úgynevezett cellakatalógus, amely már előre lemodellezett cellákat tartalmaz.

Ezek nagyrészt a különböző szerelvény cellák, amelyeket modellezési folyamatok során gyakran alkalmazunk. Minden cellához tartozik adatmaszk, amelyben a cellára jellemző információk találhatóak. Ilyen információ például a gyártó, a típus, a funkció és az, hogy ipari körülmények között milyen paraméterek mentén üzemel biztonságosan az adott szerelvény.

A szerelvényekhez tartozik egy séma rajz, amely azonnal megjelenik, ha rákattintunk a katalógusban a kívánt modellezendő szerelvényre. A séma rajzban előre definiált szabvány méretek automatikusan elérhetőek, egy-egy paraméterhez rendelt gördülősáv segítségével, azonban van lehetőség egyéni méreteket is megadni.

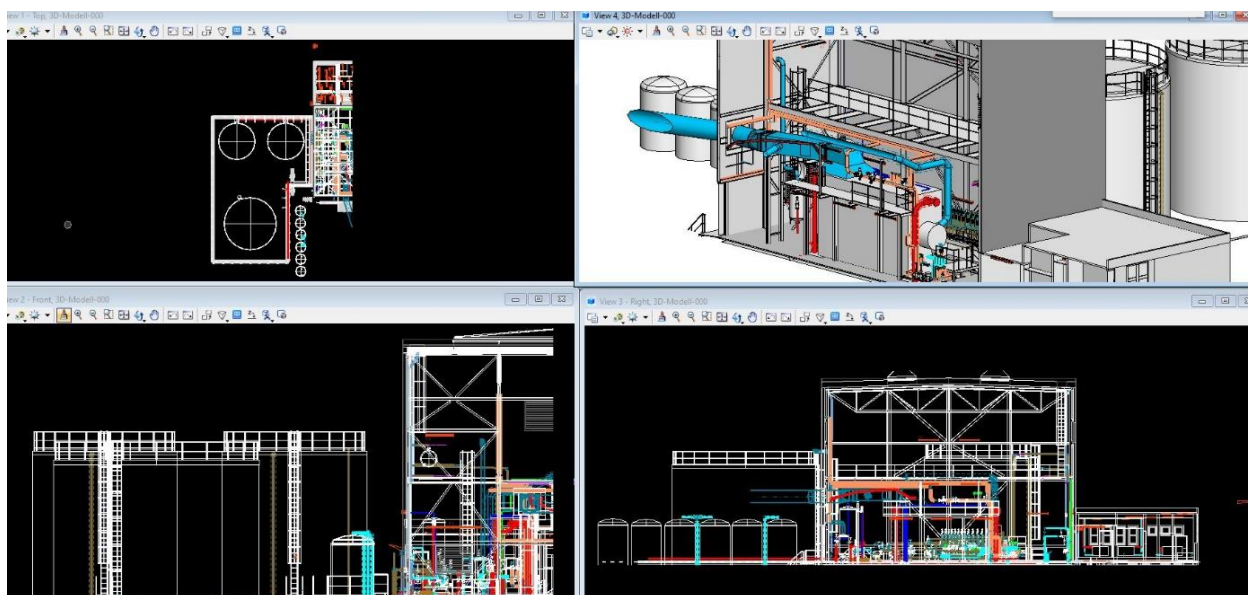
3.3. Kötelezően előírt felhasználói környezet, azaz az „Enviroment”

A „VirtualFactory” fejezetében már taglaltam azt, hogy a különböző cégeknek, akik általában a beruházások finanszírozói is, konkrét elképzeléseik vannak arról, hogy milyen kritériumok mentén szeretnék a létesítményükről a 3D-s modelljeiket viszont látni.

Akiknél napirenden van, azaz igény, hogy létesítményeikről szeretnék, hogy 3D-s modellek álljanak rendelkezésre és ezeket az adatbázisokat folyamatosan aktualizálják, ott gyakran kialakítanak egy speciális szoftveres felhasználói környezetet.

Ez lényegében egy olyan integrálható adatbázis, amely specifikusan az adott létesítmény üzemeltető igényeire van szabva. Ez tartalmazza azokat a CAD irányvonalakat és struktúrákat, amiket a megrendelő fontosnak tart és kötelező érvényűnek a saját 3D-s modelljeit tekintve.

Az adatbázis egy olyan integrálható modellezési környezet, amely tartalmazza azokat a specifikus színekódokat, rétegstruktúrákat és cellakatalógusokat, amely a létesítményeiben jellemzően jelen vannak. Egy meghatározott „Enviroment”-el rajzolt hőerőműnek a teljes 3D modelljét több nézetben a 7. ábra mutatja meg.



7.ábra. Hőerőmű és a teljes 3D modellje

4. Energia központ fűtéstechikájának 3D-s modellezése

Dolgozatom témája egy adott távhő létesítmény egyik épületében található energiaközpontjának a modellezése, azon belül is a fűtéstechikához tartozó szakági rendszernek a kiértékelése egy 3D-s modell segítségével.

A nevezett energia központban több szakági rendszer is jelen van, azonban funkcióját tekintve egy távhő központról beszélünk, ezért a többi szakági rendszer kiértékelésétől eltekintek. A modellezett energia központ felülnézeti fényképét a 8. ábra mutatja meg.



8. ábra. Modellezett energiaközpont felülnézeti fotója madártávlatból

4.1. Geodéziai szakági vezetés

Mielőtt a lézerszkennelés elkezdődhetett volna, egyeztetésre volt szükség a megrendelővel, hogy milyen jellegű koordinátarendszerbe szeretnék bekötni a 3D-s modellt.

A megrendelő kifejezte, hogy nem tart igényt arra, hogy az országos vetületi rendszerhez képest határozzuk meg a hőközpont pozícióját, illetve nem tudott adatot szolgáltatni korábbi geodéziai felmérésekről sem és nem volt tudomása arról, hogy a létesítménynek van egyéni koordinátarendszere.

Így az „ad hoc” koordináta rendszer mellett született döntés, amely úgy lett kialakítva, hogy X,Y,Z tengelyei az épület homlokvonalával megegyezzenek. Így eleve, minden utómunka nélkül már a pontfelhők regisztrációját is egy ortogonálisan helyes koordináta rendszerben tudtuk megkezdeni.

A Mérés alappontja az épület bal sarkától nem messze lett kialakítva, amely lényegében a felülnézetben az X,Y, koordinátarendszer origója, mérést tekintve pedig a mérés nullpontja. Azépület körül természetesen pontsűrítést kellett végezni, amely pontok szintén koordináta helyes alappontokként lettek a mérésben regisztrálva.

A csarnokon belül is kellett egy külön ortogonálisan helyes koordinátarendszert kialakítani, amelynek a viszonyítási pontja szintén a külső nullpont volt. további Természetesen ez a rendszer is ortogonálisan párhuzamos volt az épület belső homlokvonaláival. A csarnokon belül is kellett pontsűrítést végezni mivel, egy ilyen energetikai hőközpontban rengeteg rendszer található, ezért rendkívül túlszűfolt, összelátási nehézségek keletkeznek.

Az átláthatóság és a mérés biztonsága miatt indokolt volt viszonylag sok célkoordináta helyes alappontokat létesíteni, aminek segítségével a pontfelhőket összetudtuk fűzni. Az ilyen jellegű méréseknél a geodéziai mérőállomás a lézerszkennert párhuzamosan dolgozik.

Miután a lézerszkennert leszkennelte a belső térben a kívánt területet, következhet a pontfelhők összefűzése. Egy nagyobb létesítmény vagy gyártócsarnok esetében érdemes külön adatbázisokat, szektorokat létrehozni a könnyebb átláthatóság érdekében.

Mivel itt a kérdéses projekt összesen pár száz négyzetméternyi terület volt, ezért elég volt egy adatbázist létrehozni, amiben a pontfelhőket csak a megrendelő által definiált szintek mentén kellett szétválogatni.

4.2. A fűtéstechnikai rendszer kötelezően előírt modellezendő rendszerei és azok elemei

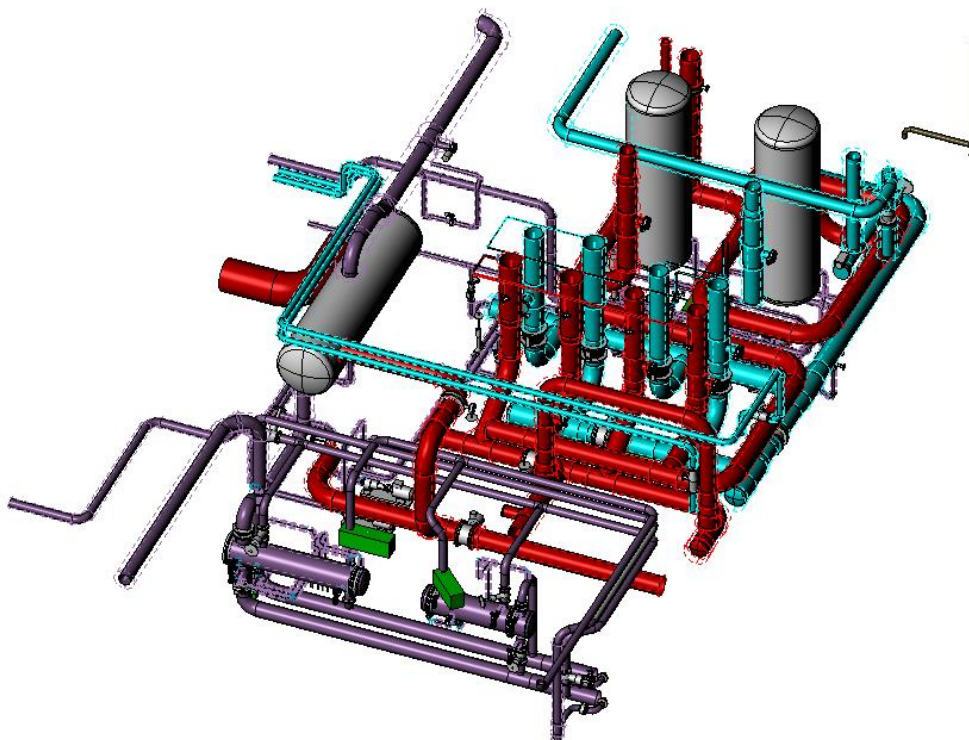
Következő rendszerek voltak előírva modellezésre a projekt során:

Fűtés teljes hálózata:

A gőzt és a fűtővizet szállító rendszerek teljes nyomvonalát kellett megfelelően azonosítani, majd modellezni és külön feltüntetni réteghelyesen, hogy melyek az előre menő és visszatérő ágak.

A szigeteléseket szabvány szerint azonosítani kellett, geometriai méreteit a pontfelhőből meg kellett határozni és azokat szabvány szerint adatmaszkba megfelelően felvinni. Azonosítani kellett a hőcserélőket, a hozzátartozó szerelvényeket, a csatlakozó ágakat, és ezeket a megfelelő réteg szerint modellezni. A fűtéstechnikai hálózathoz tartoznak a vízkezelő berendezések, ezeket cellakatalógusból kellett azonosítani és szabvány szerint méretezni. Ebbe a csoportba tartoznak: a vízlágyító berendezések, az automatizált vegyszeradagolók... stb.

A teljes fűtőhálózat 3D-s modelljét a 9. ábra szemlélteti:



9.ábra. Fűtőhálózat teljes 3D-s modellje

Fűtéstechnikai vezérlőrendszerek, biztonsági rendszerek:

Különböző szabályzó berendezések, amelyek elsősorban a hőmérséklet és a nyomást szabályozzák. A hőmérsékletet és nyomást szabályzó biztonsági berendezéseket, amelyek nem minden esetben voltak a cellakatalógusban fellelhetőek, egyénileg kellett modellezni, majd az adatbankjukat kitölteni.

Hidraulikai rendszerek:

A különböző szivattyútelepek szabályzó és vezérlő berendezéseit szintén előírta a megrendelő, amelyekhez tartozik egy komplexebb csőhálózat is, amely magát a fűtővizet hivatott szállítani.

Kéményrendszerek és füstgázkezelő csőhálózat

Ezek szintén bonyolult komplexebb rendszerek, amelyek nyomvonalai meglehetősen összetett és sokféle berendezéssel tarkítottak.

4.3. Előírt modellezési irányelvek

Projektmegbeszélések során a megrendelőnek tiszta elképzelési voltak arról, hogy milyen kritériumok mentén szeretné vizualizálni a 3D-s modelljét a kérdéses központról. Általánosságban elmondható volt, hogy semmilyen olyan különleges kitéltet nem szabott, ami az általános modellezési módszertől eltérő lett volna.

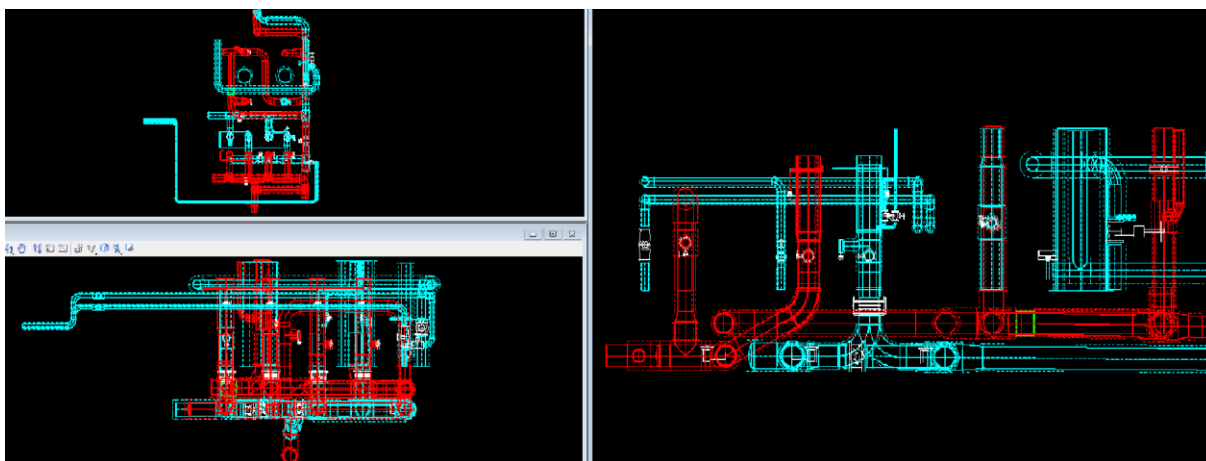
Lejtést és ferdeséget tekintve az átlagolás 20 méterenként volt engedélyezett. Ezt felülnézetből kellett lemérni és az adott hosszintervallum mentén kellett a csőben a ferdeséget megátlagolni „kivenni”. Azaz a csöveket nem ferdítettem a projekt során. A megrendelő ragaszkodott ahhoz, hogy az összes cső párhuzamos legyen a 3 ortogonálisan adott főiránnyal. Ennek oka, hogy a további tervezési metódusokat jelentősen meggyorsítja, ha nem ferde csövek középvonalát kell összekötni.

Csőszigeteléseket először pontfelhőből kellett lemérni, majd a geometriai méreteket azonosítani szabvány szerint. Általánosságban elmondható, hogy a szigetelések az „IW” szigetelési szabványnak feleltek meg.

Kötelezően egyenes szakaszok mentén lehetett csak modellezni, törekedve a lehető legminimálisabb elemszám használatára. Csőtöréseket csakis szabvány szerint szabadott definiálni, a természetes torzulásokat, amik 15 fok alatt szerepeltek a modellezési folyamatok során figyelmen kívül kellett hagyni.

Szerelvényeket először cellakatalógusból kellett azonosítani, amennyiben ez nem sikerült, akkor a megrendelői egyeztetés után a pontos paraméterek megadásával a sémákról, kellett dokumentálni. Egyéni szerelvényeket csak a biztonsági rendszerek nyomvonal mentén találtunk.

A megrendelő a korábbi modellezésekből rendelkezésre tudott állítani úgynevezett koordináta helyes üres 3D fájlokat. Ezekben a fájlokban szükségessé vált különböző nézeteket gyártani, ugyanis értelemszerűen a megadott fájlok nem voltak párhuzamosak a pontfelhőinkkel. Miután integráltuk az előírt modellezési környezetben az üres fájlokat, abban minden probléma nélkül megjelentek a réteg struktúrák és a különböző szakági médiumok is kifogástalanul működtek. A fűtéstechnikai rendszer előre és visszatérő ágainak ortogonálisan helyes nézetábrázolását a 10. ábra mutatja meg.



10.ábra A fűtéstechnikai rendszer előre és visszatérő ágainak ortogonálisan helyes nézetábrázolása

5. A fűtéstechnikai rendszer gyakorlati modellezése

A fűtéstechnikai rendszer az egyik legösszetettebb épületgépészeti szakág mind közül. Többféle közeget is szállít: olajat, fűtővizet, gőzt és ezek a közegek különféle hőmérsékleti kritériumoknak kell, hogy megfeleljenek. Ezek miatt maga a rendszer is sokkal többféle környezeti hatásnak van kitéve, mint más szakágak. Beszélünk itt elsősorban a hőhatásokról, korrózióról és vízkövesedésről.

Ahhoz, hogy egy ilyen rendszer üzemi körülmények között megfelelően működjön, rengeteg szabályzó elemet és biztonsági berendezést kell beépíteni annak teljes nyomvonalá mentén.

5.1. Modellezési funkciók a fűtéstechnikai modulban

Lehetőség van beállítani, hogy az elemeket a program úgy jelenítse meg és építse be a modellbe, hogy a csővégek mentén automatikusan valamilyen kötést generál önmagától, pl. karimás kötést.

Az ilyen jellegű funkciók inkább a tervezési fázisban indokoltak ezért itt nem alkalmaztuk, mivel megvalósulást kellett modellezni. Lehetőség van arra is, hogy párhuzamosan több csőnek a nyomvonalát modellezzük. Ilyenkor meg kell adni a csövek távolságát, illetve külön-külön definiálni kell a rétegeket, átmérőket és szigeteléseket.

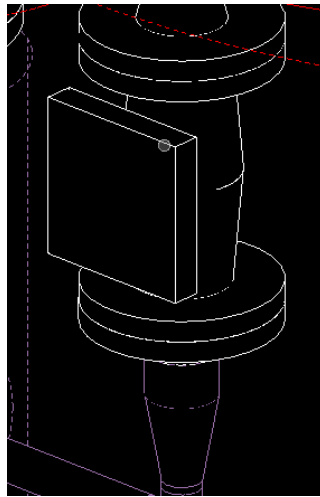
Ennek a funkciónak a hasznossága leginkább akkor szembevető amikor osztógyűjtőket kell modellezni és párhuzamosan az elosztóba számos bekötést és csatlakozást kell meghatározni. Lehetőség van arra is, hogy előre definiált elemeket is beépítsünk, például T-idomokat és szűkítőelemeket.

Kanyarelemek pozícionálásánál arra kell figyelni, hogy az átmérők mindig a pontfelhőnek megfelelőek legyenek méretezve és a sematikus rajzon a megfelelő rubrikában legyenek kitöltve. Külön-külön kell definiálni a bemenő és a kimenő nyílást a kanyarelemen, lehetőség szerint szabványméreteknél megfelelően. Szintén hasonlóképpen kell eljárni a kanyarelem „rádiuszánál” azaz kanyarodási szögénél is.

Szűkítőelemek számos helyen előfordulnak minden központnál. Itt is figyelni kell arra, hogy a bemenő és kimenő nyílások pontosan legyenek definiálva, ha esetlegesen a szűkítőelemen szigetelés van, akkor azt a program automatikusan hozzáigazítja az elemhez.

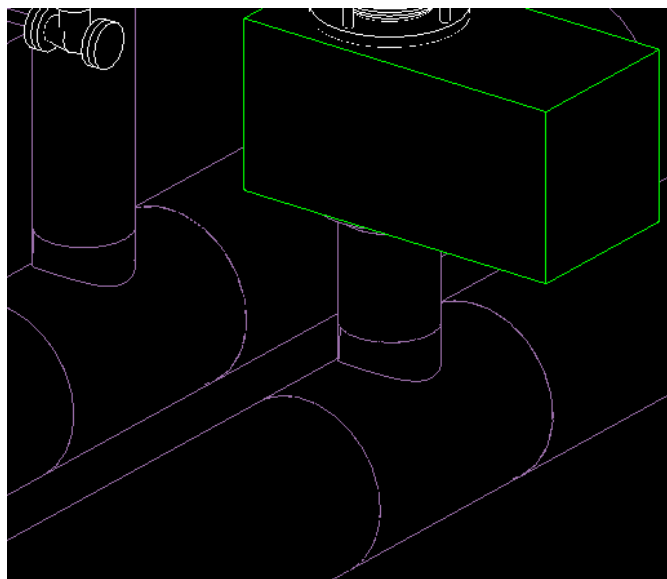
Itt lehetőség van még egy paraméter megadására, mégpedig arra, hogy ez elem a nagyobb átmérő felől a kisebb irányába arányosan szűküljön a középvonal mentén vagy excentrikusan.

Ezt a pontfelhőből a megfelelő nézetben egyértelműen fel lehet ismerni. Egy ilyen szerelvény utáni szűkítőelemet a modellezett fűtésechnikai rendszerben a 11. ábra mutat meg.



11. ábra. Szűkítőelem egy nyomás szabályzó cella előtt

T-idomok definiálása esetén mindig figyelembe kell venni, hogy maga a leágazás milyen átmérőt vesz fel, illetve, hogy 3 irányban, vagy négyben ágazik el az elem. Ezekre a kritériumokra mind van lehetőség és egyenként definiáljuk a sematikus rajzban. A modellezett fűtésechnikai rendszerben található két T-idomot, egy leágazással a 12. ábra mutat meg.



12. ábra. T-idomok egy leágazással

Hőleadóknál a program automatikusan felkínálja a lehetőséget arra, hogy definiáljuk a távolságot az ablaktól vagy a faltól.

A fő paraméterek mellett, ami a hossz, szélesség és magasság, definiálni kell azt is, hogy az előremenő ág és visszamenő ág hol kössön be a hőleadóba.

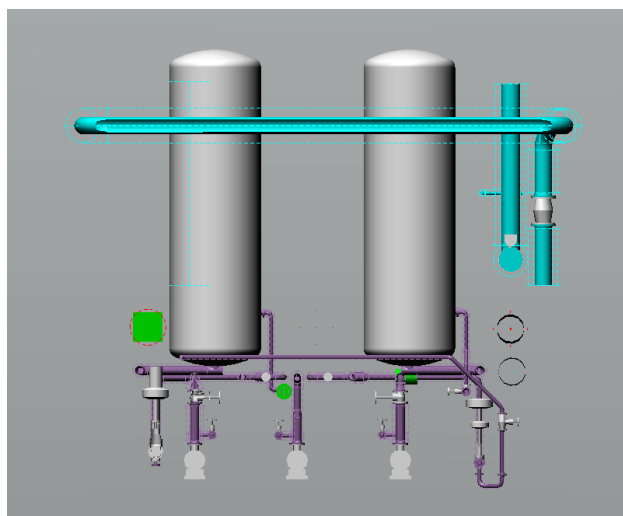
„Egy” csöves rendszernél, ami manapság már nagyon ritka, természetesen csak egy csatlakozást tudunk megadni, „két” csöves (ahol külön-külön köt be a visszamenő ág és az előre menő is) esetén pedig kettőt.

Közvetlenül azt is definiálni kell, hogy milyen jellegű szerelvények vannak a csatlakozásnál, ezt külön séma ablakban vagyunk képesek méretezni és kiválasztani. Az adatmaszkban lehetőségünk van felvinni külön a gyártót és a típust is.

A program beépített funkciójában meg kell adni, hogy a bekötések hol legyenek a fűtőtesten. Ha ezt kiválasztottuk a séma rajzon, akkor onnantól fogva ez lesz az alapértelmezés minden további lerakott berendezésnél.

Mivel többféle rendszert modelleztünk többféle fűtőközeggel, ezért kiemelt szerepet kaptak azok a tároló berendezések a modellezési folyamat során, amik ezeket a rendszereket kiszolgálták.

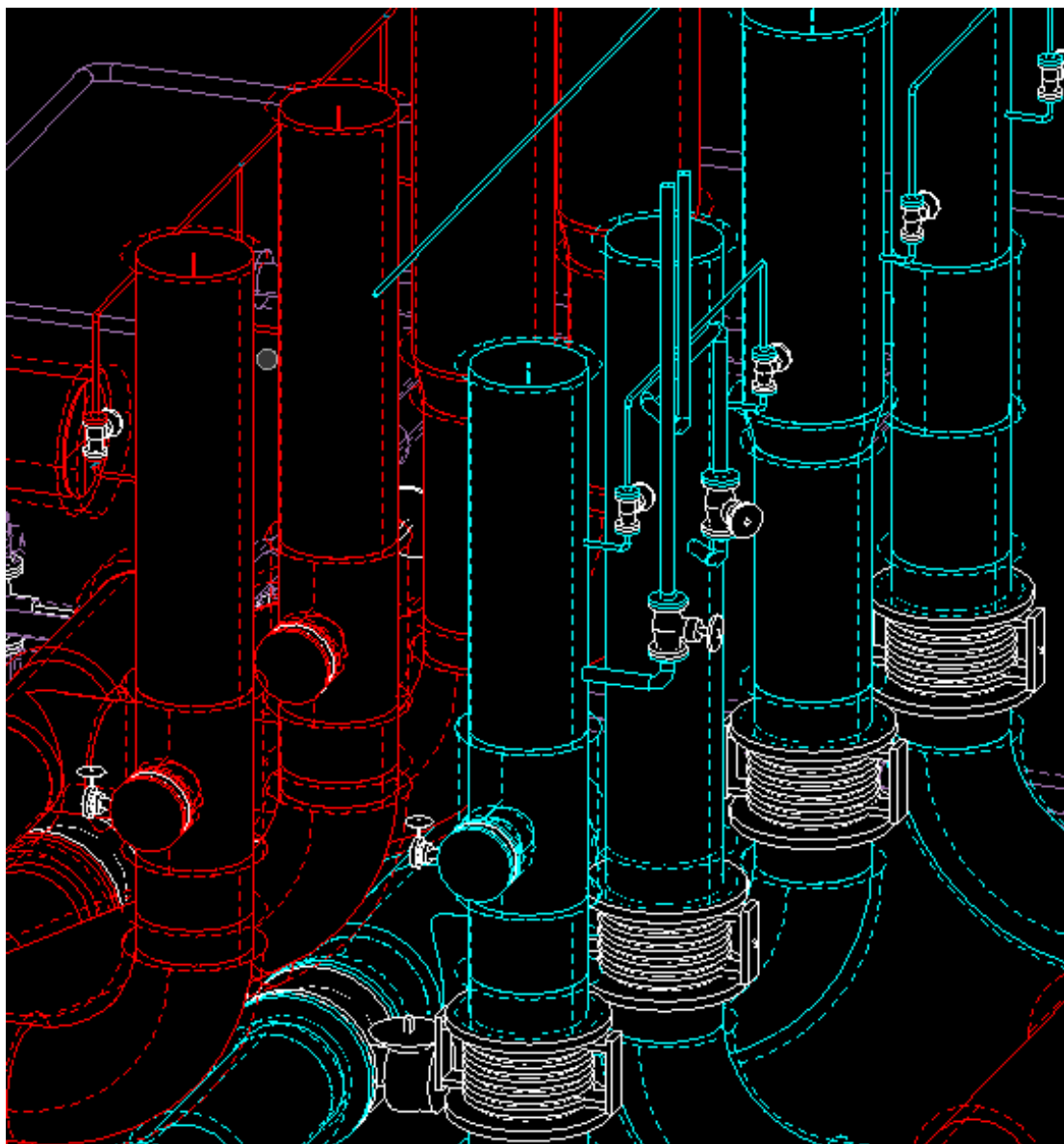
A tartályoknál elsődlegesen azt kell eldönteni, hogy vízszintesek vagy függőlegesek e, illetve milyen jellegű a keresztmetszetük, ami lehet kör felületű vagy négyszögletes. Ezenkívül lehetőség van arra, hogy a talpakat számszerűsítsük és definiáljuk, hogy milyen struktúra mentén szeretnénk őket modellezni. A modellezett rendszerben két függőleges tartályt a 13. ábra mutat meg.



13.ábra. Függőleges tartályok

A dolgozatban már többször szó eset az osztógyűjtők modellezéséről. Minden energetikai központban szerepelnek, ezek bonyolultabb szerkezetű berendezések, rengeteg bekötéssel és csatlakozással. A program lehetőséget biztosít arra, hogy ezeket a csatlakozásokat egyenként méretezzük, illetve azt, hogy a csatlakozások milyen kötésekkel kapcsolódnak a cellába.

Itt is van lehetőség kör vagy négyszögletes keresztmetszet modellezésére. Egy osztógyűjtő bekötéseit a 14.ábra mutatja meg.



14.ábra. Osztógyűjtő bekötései

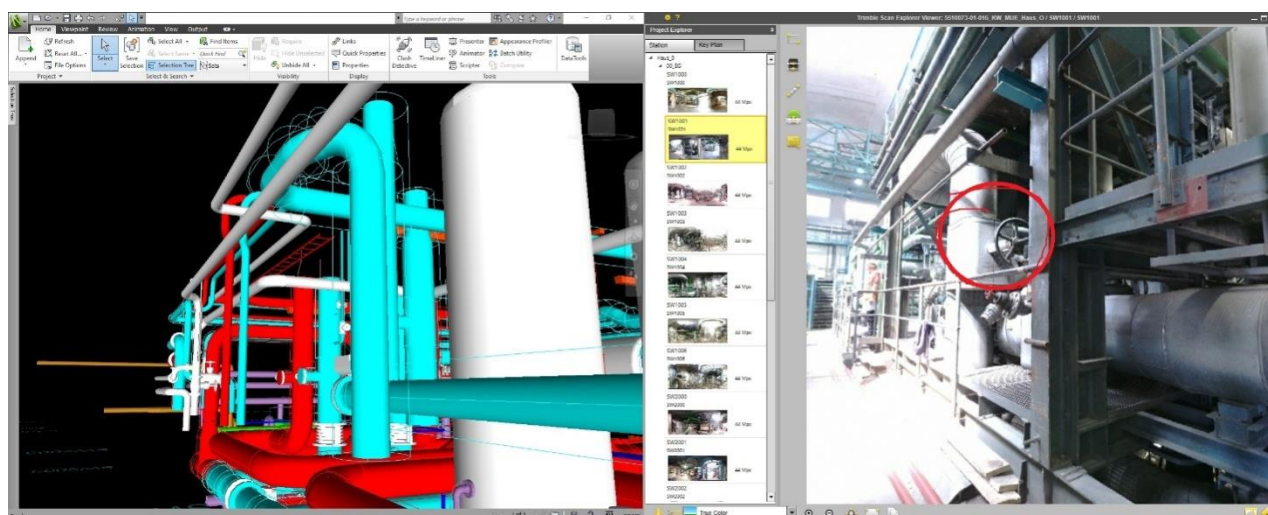
5.2. Előírt vizsgálatok a kész modellt tekintve

Teljeségi vizsgálat:

Ilyenkor a teljes modellen úgynevezett hiányellenőrzést végzünk. Kiexportáljuk a modellt olyan program segítségével, ahova betudjuk integrálni a gömbpanorámás fényképek origóját. Ha az origóra rákattintunk, akkor ugyanoda tudunk navigálni a modellben, mint ahonnan a gömbpanorámás fényképet nézzük.

Összehasonlítjuk a modellünket a gömbpanorámás fénykép valóságával és hogyha esetlegesen hiányt tapasztalunk akkor azt a megfelelő szakági modellben pótoljuk.

Egy szerelvény hiányát a fűtéstechnikai modellben és az azonos pozícióból nézett gömbpanorámás fénykép közti különbséget a 15. ábra mutatja meg



15. ábra. Szelep hiány a fűtéstechnikai rendszerben és gömbpanorámás fénykép

Modell folytonossági vizsgálat:

Ez egy olyan vizsgálat, amely egy beépített funkció magában a szoftverben. Ilyenkor kijelöljük a kívánt réteget és végig futtatjuk rajta a vizsgálatot. A vizsgálat abból áll, hogy a program automatikusan végig pásztázza a modellben található csövek középvonalát és ahol szakadást talál azt megjelöli.

Ez lehet tudatos megszakítás, ha például egy függőleges csövet a padlóig modellezünk és ott megszakítjuk. Azonban a legtöbb esetben ez modellezői hiba, mégpedig azért, mert a modellezési folyamatok során nem a középvonal végétől folytatta a cső nyomvonalának a modellezését a szakember.

Ha mondjuk egy 2D-s felülnézeti nyomvonalrajzot exportálunk a modellünkből, akkor itt a tervrajzban szakadás lesz a csövek nyomvonalát tekintve. Ha pedig áramlástan szimulációt szeretnénk a kész modellen futtatni, akkor is hibát fog jelezni a program ugyanis ennek a szimulációnak a feltétele a folytonos középvonal.

Ütközés vizsgálatok:

A legfontosabb vizsgálat mind közül. Ilyenkor az összes modellnek a rétegét összevetjük egymással és végzünk egy kiértékelést abból a megközelítésből, hogy melyik rétegen lévő modell elemek ütköznek saját rétegükkel vagy pedig egy másik rendszerrel.

Az ütközés oka, sokféle lehet, gyakran keletkezik úgynevezett duplikáció, ilyenkor a modellező szakember kattintási hiba miatt többszörösen pozíciónál egy elemet a modelltérben. A leggyakoribb ütközés viszont az, hogy a szakági rendszerek modelljei egymással párhuzamosan készülnek és így nincs lehetőség valós idejű referálásra, se kitéréssel való modellezésre. Sokszor előfordul, hogy több modellező is úgy gondolja, hogy egy rendszer az ő modelljének integráns része és duplán kerül modellezésre.

Ez természetesen csak akkor fordul elő, ha egy rendszer nincs megfelelően matricázva vagy jelölve és kísértetiesen hasonlít egy másikhoz.

6. Projekt összegzése

A legnagyobb probléma a teljes projekt során az volt, hogy a megrendelő nagyon kevés korábbi tervrajzot tudott rendelkezésre bocsájtani és mivel a szkennelés nem Magyarországon történt, ezért utólagos helyszíni szemlére nem volt lehetőség.

A szkenneléssel párhuzamosan kellett készíteni egy helyszíni dokumentációt is, ugyanis a gömbpanorámás fényképek nem voltak elég nagy felbontásúak ahhoz, hogy a csővezetékek helyszíni megírásai jól látszódnak. Ezek a dokumentációk javarészt „skiccek” voltak, kézzel készített helyszíni nyomvonal rajzok, amelyek tartalmazták, hogy milyen irányú a közegáramlás, illetve az adott nyomvonal milyen szakági rendszerhez tartozik.

Mivel a megrendelés kizárólag a fűtéstechnikára vonatkozott, ezért megállapítható volt, hogy az azonosítás viszonylag könnyen ment az energiaközpontban, könnyen lehetett azonosítani a modellezendő rendszert.

Problémát jelentett, hogy nem álltak rendelkezésre kapcsolási rajzok se, illetve semmilyen leírat nem volt arról, hogy milyen típusú szerelvények kerültek beépítésre. A celláknak az adatmaszkjába a pontos megnevezéseket és fontosabb műszaki paramétereket szükséges volt felvinni, így minden egyes szerelvénytípusról kellett egy olyan fényképes dokumentáció, ami alapján azonosítani lehetett az adott szerelvényt típusának megfelelően.

A fent említett hiányosságok, dokumentáció előállítása jelentősen megnövelték a helyszínen töltött időt.

A modellezési fázis során az „Ad hoc” koordinátarendszereknek egymáshoz való pozicionálása hibahatáron belül sikerült, a mérést a geodétának nem kellett megismételni és újabb pontsűrítésre sem volt szükség. A pontfelhők összefűzése során egyetlen egy pontfelhő volt, ami valamilyen módon elcsúszott a többihez képest, ezt ki kellett szanálni. Azonban ez nem jelentett problémát, ugyanis a szkennelés állásainak sűrűsége ezt lehetővé tette. Bőven volt akkora átfedés a pontfelhők között, hogy ez nem zavarta a modellezési folyamatokat.

A modellezési folyamat teljesen átlagosnak mondható, a fűtéstechnikai rendszer egy zárt egésznek képezett és mivel bőséges helyszíni dokumentáció is rendelkezésre állt, maradéktalanul sikerült minden rendszer minden rétegét megfelelően azonosítani. Nem volt szükség pótszkennelésre. A munkát megrendelői elégedettséggel sikerült teljesíteni.

A projekt egyértelműen megmutatta, hogyha nem állnak rendelkezésre korábbi tervek, akkor elengedhetetlen a megfelelő helyszíni dokumentáció készítése. Csak így lesz biztosítva,

hogyan egy olyan 3D-s modellt kapjunk, ami alkalmas lesz arra, hogy a további tervezési metódusokat, jövőbeli várható igényeket maradéktalanul kiszolgálja.

Továbbá megállapítható az is, hogy nem szabad sajnálni a befektetett időt a szkennelésre, mindig kellő sűrűséggel, fölösen kell a szkennálásokat létesíteni. Így akkor sem jelentkezik probléma, ha esetleg egy-két pontfelhőt mérési hiba miatt, vagy egyéb „nem láthatósági” kérdések miatt ki kell iktatni a teljes egészéből.

Irodalomjegyzék

- [1] Liu S.: *3D Point Cloud Analysis: Traditional, Deep Learning, and Explainable Machine Learning Methods*, Springer, Los Angeles, USA, 2021, 144
- [2] Illés Cs.: *Épületgépészeti dokumentációk*, Nemzeti Munkaügyi Hivatal Szak és Felnőttképzési Igazgatóság, Budapest, 2012, pp. 20-53
- [3] Mathias L.: *An Introduction to Pointcloudmetry: Point Clouds from Laser Scanning and Photogrammetry*, Whittles Publishing, UK, Dunbeath, 2023, 352
- [4] Jie S., Charles K.: *Topographic Laser Ranging and Scanning Principles and Processing*, CRC Press, Cleveland, Ohio, United States, 2018, 616
- [5] Dr. Lovas T., Berémzi A., Dr. Barsi Á.: *Lézerszkennelés*, Terc Kft., Budapest, 2012, 166
- [6] George H., Martin C., Andy L.: *Laser Scanning for the Environmental Sciences*, Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey, United States, 2009, 288
- [7] Jakoby W.: *Projektmanagment für Ingenieure*, Springer Vieweg, Trier, Deutschland, 2015, pp. 100-120
- [8] Messmer H.: *TRICAD Ms: Grundlagen and Anwendung anhand der Module Lüftung 2D und 3D*, Vieweg & Teubner Verlag, Wiesbaden, Deutschland, 2004, 233
- [9] Martin D.: *Introduction to Microstation: A Project-Based Approach for Learning*, Microstation V8i (Selected Series 3), CreateSpace Independent Publishing, Scotts Valley, California, United States, 2015, pp. 23-78
- [10] Bársony I.: *Földmérési és Kitűzési ismeretek*, SZEGA books, Budapest, 2020, 144

