

**Beépített oltórendszer tervezése tisztaterekben -
SZAKDOLGOZAT**

**OE-YBL
2025.**

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Pfaff Roland





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Pfaff Roland

Szaktervezési száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Tűzvédelmi szakmérnök

Specializáció:

A dolgozat címe: Beépített oltórendszer tervezése tisztaterekben

A dolgozat címe angolul: Design of an integrated extinguishing system in clean rooms

A feladat részletezése: 1. Tisztaterek tűzvédelmi előírásai ismertetése.

2. Tisztaterek oltórendszerének tekintetében a hatályos magyar szabvány (MSZ EN 12845) és az FM Global előírásainak összehasonlítása.

3. Tisztatérrel rendelkező gyártócsarnok beépített oltórendszerének tervezése a hatályos magyar szabvány szerint (MSZ EN 12845).

Intézményi konzulens neve: Lucza Edit Éva

Külső konzulens neve: Szilágyi István

Munkahelye: BIM 3D Fire Kft.

Külső konzulens neve: Kővágó Ádám

Munkahelye: Spie Agis Fire & Security Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2029. 12. 31.

Beadási határidő: 2025. 05. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, 70., Pf. 117.

Kiadva: Budapest, 2025. 03. 19.

P.H

[Signature]
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2025. 05. 15.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
Kővágó Ádám
külső konzulens

SZAKDOLGOZAT KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve: Pfaff Roland

Dolgozat száma: [REDACTED]

Oktatási azonosítója: [REDACTED]

Szak, specializáció megnevezése:

Neptun azonosítója: [REDACTED]

Tűzvédelmi szakmérnök

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

A dolgozat címe magyar nyelven:

Beépített oltórendszer tervezése tisztatermekben

A dolgozat címe angol nyelven:

Design of an integrated extinguishing system in
clean rooms

Belső (kari) konzulens neve:

Lycza Edit Éva

Külső konzulens neve:

Szilágyi István, Kővágó Ádám

Külső konzulens munkahelye:

BIM 3D Fire Kft., Spic Agis Fire & Security Kft.

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	2025.02.28.	Szakedolgozati téma és tartalomjegyzék választásának átbeszélése	<u>[Signature]</u>
2.	2025.04.30.	Szakedolgozat formai és szakmai hiányosságainak átbeszélése	<u>[Signature]</u>
3.	2025.03.24.	Szakedolgozati feladatok meghatározása és azok elkészítési módjának átbeszélése	<u>[Signature]</u>
4.	2025.04.28.	Végleges hidraulikai adatok átbeszélése	<u>[Signature]</u>
5.	2025.04.02.	SprinkCAD kiinduló adatok ellenőrzése, szakmai kérdések átbeszélése	<u>Kővágó Ádám</u>
6.	2025.05.08.	Végleges szakedolgozat teljes szakmai átbeszélése	<u>Kővágó Ádám</u>

A Konzultációs naplót minimum négy alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A részvételt a konzulens akkor igazolhatja, ha arra a hallgató felkészülten érkezik, azaz érdemi konzultáció történt.

A hallgató a Szakedolgozat/Diplomaterv/Diplomamunka tantárgy(ak)* követelményét teljesítette.

Kelt: B.P. 2025.05.12.
(hely), (dátum)

[Signature]
belső (kari) konzulens

* A megfelelő aláhúzendő.

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Paff Roland hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Bp. ^{2025.05.10}
(hely), (dátum)

Paff Roland
hallgató

Beépített oltórendszer tervezése tisztaterekben

Összefoglalás.

A szakdolgozat célja a tisztaterek sajátos tűzvédelmi követelményeinek feltárása, valamint a beépített sprinkler oltórendszerek ezen környezetekben történő alkalmazhatóságának vizsgálata. A dolgozat részletesen ismerteti a tisztaterek működési és építészeti jellemzőit, valamint a vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozási háttérrel összhangban értékeli a sprinkler rendszerek kiválasztási és tervezési szempontjait. Az önálló mérnöki munkarész egy adott ipari létesítmény tűzvédelmi koncepciójának elemzésén keresztül mutatja be a sprinkler rendszer alkalmazásának műszaki lehetőségeit, különös figyelemmel a tisztatéri környezetre jellemző korlátokra. A vizsgálati eredmények alapján konkrét javaslatokat tartalmaz a dolgozat a tisztaterekbe integrált sprinkler rendszerek hatékony tervezésére.

Kulcsszavak: tisztatér, beépített oltórendszer, sprinkler, tűzvédelmi tervezés, OTSZ

Design of an integrated extinguishing system in clean rooms

Abstract.

The aim of this thesis is to explore the specific fire safety requirements of cleanrooms and to examine the applicability of built-in sprinkler systems in such controlled environments. The paper provides a detailed overview of the operational and architectural characteristics of cleanrooms and assesses the design criteria for sprinkler systems in line with relevant national and international regulations. The independent engineering work focuses on the analysis of the fire protection concept of a selected industrial facility, highlighting the technical feasibility of implementing sprinkler systems under cleanroom conditions. Based on the evaluation, the thesis formulates practical recommendations for the efficient design of sprinkler systems integrated into cleanroom applications.

Keywords: cleanroom, built-in fire suppression system, sprinkler, fire protection design, Hungarian Fire Code (OTSZ)

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	6
1. BEVEZETÉS	8
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	10
2.1 A tisztaterek szerepe és jellemzői	10
2.1.1 A tisztatér fogalma és osztályozása	10
2.1.2 Alkalmazási területek és jellemzők	11
2.1.3 Tűzvédelmi kihívások tisztaterekben	12
2.2 Beépített tűzvédelmi rendszerek tisztaterekben	14
2.2.1 Passzív és aktív tűzvédelmi megoldások	14
2.2.2. Tisztaterekben alkalmazott oltórendszerek típusai	15
2.3 Az oltórendszerek fejlődése, szabályozási környezete és tervezése	16
2.3.1. Az oltórendszerek történeti áttekintése	16
2.3.2 A magyar sprinkler szabvány – MSZ EN 12845	17
2.3.3 Hazen–Williams-képlet	17
2.3.4 A beépített oltórendszerek Tűzvédelmi Műszaki Irányelve (TvMI)	18
2.3.5 Az MSZ EN 12845 és az FM Global (FM 8-9) szabvány szerinti sprinkler rendszerek összehasonlító elemzése	19
2.3.6. A SprinkCAD alkalmazása	20
2.4. Nemzetközi gyakorlat és szabványi háttér	21
2.4.1. Nemzetközi szabványok és ajánlások	21
2.4.2. Esettanulmányok és példák	22
4. BEÉPÍTETT OLTÓRENDSZER TERVEZÉS TISZTATÉRI KÖRNYEZETBEN	24
4.1 A sprinkler rendszer alkalmazásának indokolása tisztatérben	24
4.2 A tervezés kiinduló adatai	25
4.2.1 Tisztatér jellemzőinek és tűzvédelmi kockázatainak ismertetése	25
4.2.2 Meglévő rendszer adatai és lényeges információi	26
4.2.3 A tervezés során felhasznált szabványok és előírások:	27
4.2.4 Technológiai folyamat	27
4.4 Kockázati besorolás	27
4.4.1 MSZ szerinti besorolás	27
4.4.2 FM Global szerinti besorolás	30
4.5 SprinkCAD szoftveres tervezés	34

4.5.1 A SprinkCAD kiinduló adatai, csővezetékek falvastagága csatlakozási stratégiák és egyéb információk.....	34
4.5.2 Tervezés menete és hidraulikai számítások eredményei és azok következtetései ..	36
4.5.3 A kész modell elemzése és a SprinkCAD által kapott további információk	42
4.6 Tervezés során felmerült problémák	47
4.6.1 K160-as sprinklerfejek alkalmazásának kérdései.....	47
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK	49
6. HIVATKOZÁSOK	51

1. BEVEZETÉS

A korszerű ipari, technológiai és kutatási folyamatok egyre nagyobb mértékben támasztanak speciális igényeket a munkakörnyezet minőségével szemben. Az olyan érzékeny gyártási vagy kísérleti környezetekben, mint a mikroelektronikai üzemek, gyógyszergyárak, biotechnológiai laboratóriumok vagy űripari szerelési terek, kiemelt jelentősége van annak, hogy a környezeti levegő minősége folyamatosan ellenőrzés alatt álljon és szabályozható legyen. Az ilyen típusú terekben a levegő részecsketartalmát, páratartalmát, hőmérsékletét és nyomását szigorú határértékek között kell tartani, hogy a technológiai folyamatok az adott tisztasági osztály követelményei szerint, zavartalanul valósulhassanak meg. Ezeket a szigorú feltételeket biztosító munkaterületeket összefoglalóan tisztatereknek nevezzük.

A tisztaterek kialakítása és működtetése során nem csupán technológiai szempontokat kell figyelembe venni, hanem kiemelt jelentősége van a személyi és létesítménybiztonság garantálásának is. A tűzvédelem különösen érzékeny terület, mivel a tisztaterekben gyakran alkalmaznak gyúlékony anyagokat, érzékeny berendezéseket, és magas fokú automatizáltság jellemző. A hagyományos oltórendszerek alkalmazása gyakran elfogadhatatlan, mivel azok kontaminációhoz, berendezéskárosodáshoz vagy gyártáskieséshez vezethetnek. Ezért elengedhetetlen olyan speciális, integrált beépített oltórendszerek alkalmazása, amelyek a tisztaterek műszaki és tisztasági követelményeivel is összhangban állnak.

A beépített oltórendszerek tervezése tisztaterek esetén számos olyan szempontot vet fel, amelyeket hagyományos ipari vagy középületi környezetben nem szükséges ilyen mélységben figyelembe venni. A tervezés során számolni kell többek között a tisztatérben kialakuló légáramlási viszonyokkal, a túlnyomásos rendszerek működésével, a fal- és mennyezetburkolatok anyagtani tulajdonságaival, valamint azzal, hogy az alkalmazott oltóanyag ne veszélyeztesse sem az ott dolgozók egészségét, sem az érzékeny technológiát. Mindezekon felül kiemelten fontos az is, hogy a rendszer működése ne okozzon jelentős leállást vagy tartós károsodást a tisztatér funkcionális elemeiben.

A szakdolgozat célja egy tisztatéri környezethez illeszkedő, beépített oltórendszer tervezési koncepciójának kidolgozása, amely a tűzvédelmi hatékonyság és a szigorú technológiai követelmények együttes teljesítését biztosítja. A témaválasztás aktualitását az ipari tisztaterek növekvő aránya, a gyártási környezetek szigorodó tisztasági és tűzvédelmi előírásai, valamint az új szabványi követelmények (pl. GMP Annex 1, ISO 14644) teszik indokolttá.

Ennek érdekében a dolgozat első része áttekinti a tisztaterek általános jellemzőit, felépítését, működését és a különböző tisztasági osztályok szerinti besorolási rendszerét, valamint

bemutatja a releváns nemzetközi és hazai szabványokat, előírásokat. Ezt követően részletesen tárgyalja a tisztaterekre jellemző tűzvédelmi kockázatokat, azok értékelési módszereit, valamint azokat a tervezési szempontokat, amelyek elengedhetetlenek az alacsony kontaminációs kockázatú, technológiakímélő tűzoltási megoldások alkalmazásához.

A dolgozat egyik központi eleme egy valós tisztatérre vonatkozó beépített oltórendszer tervezési folyamatának bemutatása. Ennek során a tervezési folyamat lépései – így a kockázatelemzés, az oltóanyag megválasztása, a szórófejek elhelyezése stb. – részletes ismertetést kapnak. A cél egy olyan rendszer koncepciójának kidolgozása, amely egyensúlyt teremt a tűzvédelmi hatékonyság, a védett technológia érzékenysége és a tisztasági követelmények között. Fontos szempont, hogy a tervezett megoldás megfeleljen az üzemeltethetőségi, karbantarthatósági, megbízhatósági és gazdasági szempontoknak.

A kutatómunka során elsődleges szempontként jelent meg a tudományos megalapozottság és a gyakorlati alkalmazhatóság összehangolása. A hazai és nemzetközi szakirodalom, a jogszabályi háttér, valamint a gyártói és iparági ajánlások áttekintésével igyekszem olyan átfogó képet nyújtani, amely nemcsak elméleti ismereteket közvetít, hanem iránymutatást is ad a hasonló rendszerek tervezésében közreműködő mérnökök, tűzvédelmi szakemberek és üzemeltetők számára. Bízom benne, hogy a dolgozat hozzájárul a tisztaterek tűzvédelmi kultúrájának fejlesztéséhez és támogatja a szakmai diskurzust a biztonság, a kontaminációmentesség és a technológiai hatékonyság egyensúlyának megteremtésében.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 A tisztaterek szerepe és jellemzői

2.1.1 A tisztatér fogalma és osztályozása

A tisztatér (angolul *cleanroom*) olyan mesterségesen kialakított zárt tér, amelyben a levegő minősége – különösen annak részecsketartalma – meghatározott határértékek között tartható. A tisztatér célja a mikroszennyeződések kizárása olyan környezetekben, ahol a szennyeződés kockázata közvetlenül befolyásolja a termékminőséget, a folyamatok megbízhatóságát vagy a vizsgálatok eredményességét. Ilyen környezetek jellemzően a gyógyszeripari, biotechnológiai, mikroelektronikai és egészségügyi alkalmazások.

A tisztaterek besorolása a levegőben található lebegő részecskék koncentrációja alapján történik, az ISO 14644-1:2015 szabvány szerint. A szabvány kilenc kategóriát különböztet meg (ISO 1-től ISO 9-ig), ahol az alacsonyabb szám magasabb tisztasági szintet jelöl. Az osztályozás alapját az adja, hogy adott térfogatban (1 m³) különböző méretű részecskékből hány darab lehet jelen (ISO, [2015]).

Az ISO-szabvány meghatározott részecskeméret-határértékeket rögzít: $\geq 0,1 \mu\text{m}$, $\geq 0,2 \mu\text{m}$, $\geq 0,3 \mu\text{m}$, $\geq 0,5 \mu\text{m}$, $\geq 1,0 \mu\text{m}$ és $\geq 5,0 \mu\text{m}$. Az egyes iparágak a technológiai követelményeiknek megfelelő mérettartományt tekintik irányadónak. A gyógyszeripari tisztaterekben jellemzően a $\geq 0,5 \mu\text{m}$ méretű részecskék száma alapján történik a minősítés, míg a $\geq 5,0 \mu\text{m}$ -es méretet főként mikrobiológiai monitoring céljából alkalmazzák. (NEBIH, [2022])

Ezzel szemben a mikroelektronikai iparágban a $\geq 0,1 \mu\text{m}$ méretű szennyeződések is kritikusnak számítanak, mivel ezek már hibákat idézhetnek elő a félvezető-gyártási folyamat során. (SHU ET AL., [2022])

1. táblázat – ISO 14644-1:2015 szerinti tisztatéri osztályozás $\geq 0,5 \mu\text{m}$ részecskeméret alapján

Forrás: ISO 14644-1:2015 – Classification of air cleanliness by particle concentration;

ISO osztály	Megengedett részecskeszám (db/m ³)	Példák
ISO 1	— (nem szabályozott erre a méretre)	MEMS, nanochip-gyártás
ISO 3	10	Mikrochip litográfia
ISO 5	3 520	Aseptikus gyógyszerfertőtlenítés, steril palackozás
ISO 7	352 000	Steril tér előterei, optikai eszközök összeszerelése
ISO 8	3 520 000	Csomagolóter, laborelőkészítő terek

Az 1. táblázat a $\geq 0,5 \mu\text{m}$ méretű részecskékre vonatkozó megengedett koncentrációkat mutatja be az egyes ISO-osztályok szerint.

Az osztályozás során figyelembe kell venni a tér üzemállapotát is, amely alapján három típust különböztetünk meg:

- As built: az újonnan kialakított tér berendezések és személyzet nélkül.
- At rest: a helyiségben már jelen vannak a gépek, de még nincs személyi jelenlét.
- Operational: a tér teljes működés közben, aktív személyzettel.

A szabvány előírása szerint a minősítést jellemzően az „at rest” vagy „operational” állapotban kell elvégezni. Ez különösen lényeges ott, ahol az emberi jelenlét a levegőszennyezés egyik fő forrása (NEBIH, [2022]). Ezt támasztja alá Shu és munkatársainak (2022) terepi vizsgálata is, amely szerint az *operational* állapotban a részecskeszám – még optimális légcserével – jelentősen meghaladja az *at rest* állapotban mért értékeket.

A helyiségek jelölése szabványos formában történik, amely tartalmazza az ISO-osztályt, a vizsgált részecskeméretet és az üzemállapotot. Például: *ISO Class 5 @ $\geq 0.5 \mu\text{m}$ (at rest)*.

Fontos hangsúlyozni, hogy az ISO-besorolás logaritmikus skálán történik, azaz az osztályszám növekedésével exponenciálisan nő a megengedett részecskeszám. Ez azt jelenti, hogy például az ISO 5 és ISO 7 közötti különbség nem kétszeres, hanem több mint százszoros lehet. Ez a gyakorlatban azt eredményezi, hogy a magas tisztaságú terek üzemeltetése nemcsak technológiai, hanem energetikai és üzemeltetési szempontból is jelentős kihívásokat rejt magában.

A megfelelő ISO-besorolás meghatározása ezért nem csupán levegőminőségi, hanem a beépített oltórendszer fizikai és működésbeli megfelelésége szempontjából is meghatározó tervezési tényező.

2.1.2 Alkalmazási területek és jellemzők

A tisztaterek alkalmazása iparáganként változó tisztasági követelményekhez igazodik, céljuk minden esetben az, hogy minimálisra csökkentsék a levegőben található részecskék számát, illetve megakadályozzák a mikrobiológiai, molekuláris vagy elektrosztatikus eredetű szennyeződéseket. A különböző iparágak eltérő ISO-osztályokat alkalmaznak, és a tisztaterek műszaki kialakítása – a légtechnikai rendszerektől az anyagforgalmi protokollokig – ennek megfelelően módosul (ISO, [2015]).

A gyógyszeriparban különösen kritikus a levegő sterilítése és a részecskeszennyeződések kizárása, mivel ezek közvetlenül befolyásolhatják a gyógyszerkészítmények biztonságát és hatékonyságát. Az EU GMP-előírások előírják, hogy a steril gyógyszerek előállítása során a legkritikusabb technológiai lépések – mint például az aszeptikus töltés – ISO 5 osztályú

környezetben történjenek. A gyártási zónát körülvevő terek, mint az anyag- és személyzsilip, rendszerint ISO 7–8 osztályúak. A tisztasági feltételeket lamináris áramlással működő HEPA szűrés, túlnyomásos szellőztetés és szigorú munkaszervezési protokollok biztosítják (NEBIH, [2022]; RUDOLF ET AL., [2020]).

A mikroelektronikai iparban már egyetlen 0,3 μm átmérőjű részecske is zárlatot, gyártási hibát vagy funkcióvesztést okozhat egy félvezető struktúrában. Ezért az itt alkalmazott tisztaterek jellemzően ISO 3–4 osztályúak, a különösen érzékeny lépések – például fotolitográfia – esetén ISO 1–2 kategóriákat is használnak. A részecskeszám kontrollját nagy hatékonyságú légszűrés, antisztatikus anyaghasználat és beléptetési korlátozások segítik (SHU ET AL., [2022]).

Az űriparban és az optikai iparban a tisztasági követelmények elsősorban a felületekre lerakódó szilárd szennyeződések, valamint a molekuláris kontamináció (VOC-k) ellen irányulnak. Itt általában ISO 5–7 besorolású tisztatereket alkalmaznak. Kiemelt figyelmet fordítanak az elektrosztatikus kisülések (ESD) megelőzésére, az anyagválasztásra és az ionizált légtér fenntartására (LJUNGQVIST – REINMÜLLER, [2020]).

A biotechnológiai és orvosi laboratóriumokban a tisztasági követelményeket a kísérletek érzékenysége határozza meg. Az ISO 6–8 kategóriába sorolt terek esetén az a cél, hogy minimalizálják a minta- és sejtszennyeződés kockázatát. A térzónák, külön bejáratok és zsiliprendszerek biztosítják a különböző tisztaságú területek szeparálását (RUDOLF ET AL., [2020]).

A tisztaterek műszaki kialakításában a következő elemek kulcsfontosságúak:

- Túlnyomásos szellőztetési rendszer, amely megakadályozza a szennyezett levegő bejutását.
- HEPA/ULPA szűrők, amelyek $\geq 99,97\%$ -os hatékonysággal távolítják el a nem kívánatos részecskéket.
- Lamináris (egyenirányított) légáramlás a turbulenciák csökkentése érdekében.
- Légzuhanyok, zsilipkamrák a személy- és anyagforgalom ellenőrzésére.

Az ismertett alkalmazási példák szemléletesen igazolják, hogy a tisztaterek kialakítása nem univerzális műszaki recept szerint történik, hanem szorosan alkalmazkodik az adott iparági kockázatokhoz és technológiai igényekhez.

2.1.3 Tűzvédelmi kihívások tisztaterekben

A tisztaterek sajátos belső környezeti paraméterei – mint a magas légcsereszám, a pozitív nyomású üzemmód, a lamináris áramlás és a részecske-kontrollált légtechnikai rendszerek –

egyedi és összetett kihívásokat jelentenek a tűzvédelem számára. Az ezen rendszerek által biztosított kontrollált környezet, amely a szennyeződések kizárására és a gyártási folyamat integritásának fenntartására irányul, több szempontból is kedvezőtlen feltételeket teremt a tűzérzékelés és a füstkezelés szempontjából.

A lamináris légáramlás miatt a tűz során keletkező hő és füst gyorsan eltávozik a keletkezési hely környezetéből, megakadályozva azok lokális feldúsulását az érzékelési zónában. Ez különösen az alacsony intenzitású vagy lassú égésű tüzek esetében akadályozza a detektálást. Szimulációs vizsgálatok igazolták, hogy a lefelé irányuló légáram nemcsak a tűzjelző szenzorok válaszüdejét növeli, hanem a sprinklerfejek működését is késleltetheti azáltal, hogy nem alakul ki elegendő hőfelhalmozódás az indításhoz (ZHANG ET AL. [1999]).

A füstkontroll hatékonyságának javítása céljából alkalmazott térbeli elválasztó elemek – például süllyeszthető tűzgátló redőnyök – képesek anélkül segíteni a füst elvezetését, hogy akadályozzák a tisztatéri légtechnika folyamatos működését. Ezen elválasztó rendszerek geometriája – különösen a leeresztési magasság – döntő módon befolyásolja a füst koncentrációját és visszatartási idejét, ezáltal közvetlen hatást gyakorol a szomszédos zónák füstterhelésére (LIU ET AL. [2022]).

További bonyolító tényezőként jelenik meg, hogy nagy belmagasságú vagy tengelyirányban elnyúló terekben a füst hőmérséklet-eloszlása önmagában is funkcionális anomáliákat idézhet elő. Nagyléptékű numerikus elemzések azt mutatják, hogy a füst áramlási mintázata nagymértékben függ a hőfelszabadulási rátától, az elszívási pontok elhelyezésétől és intenzitásától, valamint a légáramlást módosító építészeti elemek – például légfüggönyök – jelenlététől (LIU ET AL. [2023]).

A pozitív nyomáson alapuló térkontroll, amely a szennyeződések kizárásának egyik fő eszköze, tüzesetek során a füstterjedés egyik meghatározó tényezőjévé válik. A nyomásprofil instabilitása visszaáramlási jelenségeket idézhet elő, a füst alacsonyabb kockázatú zónákba vagy menekülési útvonalakra is eljuthat. Ez súlyos kockázatot jelenthet mind az emberi élet, mind a technológiai folyamatok szempontjából (LU – ZHANG [2022]).

Külön figyelmet érdemelnek a tisztaterekben alkalmazott elektrosztatikusan védett (ESD) polimerek, melyek bár csökkentik a kisülések valószínűségét, sok esetben gyúlékonysági szempontból nem kielégítőek. Újabb kutatások kimutatták, hogy a szerves töltőanyagokkal módosított ESD-polimerek javíthatják az éghetőségi jellemzőket, de ezek pontos anyagspecifikációja és alkalmazhatósági korlátaira vonatkozóan nem áll rendelkezésre egységes nemzetközi szabályozás (WANG ET AL. [2021]).

A fentiek alapján megállapítható, hogy a tisztaterek tűzvédelmi tervezése multidiszciplináris szemléletet kíván meg, ahol a légtechnikai, építészeti, és anyagtudományi szempontok szoros integrációja elengedhetetlen a megfelelő biztonsági szint biztosítása érdekében.

2.2 Beépített tűzvédelmi rendszerek tisztaterekben

2.2.1 Passzív és aktív tűzvédelmi megoldások

A tisztaterek tűzvédelme során alapvető követelmény, hogy a beépített rendszerek ne akadályozzák sem a tér működését, sem annak tisztasági szintjét, ugyanakkor hatékony védelmet biztosítsanak tüzeset esetén. A védelem két fő pillére a passzív és az aktív elemek integrált alkalmazása, amely biztosítja a személyi biztonságot, a technológiai integritást és a gyártás folyamatosságát.

A passzív tűzvédelmi elemek célja a tűz kialakulásának megelőzése, illetve a tűz továbbterjedésének fizikai gátlása. Ezek közé tartoznak a tűzgátló válaszfalak, ajtók, födégek, égéskésleltetett anyagok és a megfelelő tűzszakaszolás. Kiemelt figyelmet érdemelnek a légtechnikai áttörések, amelyek kritikus pontjai a füst és a forró gázok terjedésének (ZHANG ET AL, [1999]).

Az aktív tűzvédelmi rendszerek – mint az érzékelők, riasztók és oltók – gyors reagálást biztosítanak. Tisztatérben az aspirációs füstérzékelők, például a VESDA-rendszerek különösen hatékonyak, mivel kis mennyiségű füstöt is képesek detektálni anélkül, hogy megvárnák annak mennyezeti felhalmozódását (TANAKA - YAMADA, [2005]).

Az automatikus oltórendszerek közül a vízbázisú sprinkler alkalmazása ritka, mivel a víz súlyos másodlagos károkat okozhat. Helyettük előnyösebbek a gázalapú rendszerek – például az inert gázokat (N_2 , Ar, CO_2) vagy halogénezett szénhidrogéneket (pl. FK 5-1-12) használók –, amelyek maradványmentes oltást tesznek lehetővé (VISION FIRE & SECURITY, [2021]). Ezeknek rendszerek tervezésénél és alkalmazásánál irányadó az MSZ EN 15004 szabványsorozat, valamint az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ [2014]) vonatkozó előírásai, amelyek meghatározzák a gázkoncentrációk, kiáramlási idők és nyomásviszonyok műszaki határértékeit.

Speciális megoldást nyújtanak az oxigéncsökkentő rendszerek, amelyek megelőző módon szabályozzák a tér oxigénszintjét az égési reakciók megakadályozása érdekében. Ezeknél a rendszereknél a gyulladási hőmérséklet és az anyagok oxigénigénye közti összefüggés meghatározó (SFPE, [2022]; QUINTIERE - HARKLEROAD, [2002]).

A hatékony tűzvédelem a passzív és aktív rendszerek összehangolt, a tér technológiai és kontaminációvédelmi sajátosságaihoz igazított alkalmazásával érhető el.

2.2.2. Tisztaterekben alkalmazott oltórendszerek típusai

A tisztaterek tűzvédelmi tervezésének egyik legkritikusabb kérdése az oltórendszerek megválasztása. Ezeknek a rendszereknek nemcsak a tűz hatékony leküzdését kell biztosítaniuk, hanem a tér tisztaságát is fenn kell tartaniuk. Minden oltástechnológia esetében alapvető követelmény, hogy az oltás során minimális legyen a környezeti zavarás, különösen a levegőben lebegő részecskék mennyisége és a vegyi maradványok jelenléte.

A vízalapú sprinkler rendszerek széles körben elterjedtek, azonban alkalmazásuk tisztaterekben erősen korlátozott. Ezek a rendszerek akkor indokoltak, ha az adott technológiai környezet kevésbé érzékeny a víz jelenlétére, és a tüzesetek várható intenzitása magas. Előnyük az egyszerűség és a szabványosíthatóság. Ugyanakkor a kontaminációs kockázat magas, mert a kiáramló víz fizikai károsodást is okozhat az érzékeny eszközökben. Ezért leginkább olyan esetekben alkalmazzák, amikor a tűzkockázat magasabb prioritást élvez, mint az eszközvédelem vagy a részecskeszennyezés (LI – CHEN [2010]).

A gázalapú oltórendszerek – például az FK 5-1-12 vagy inergen – alkalmazása akkor célszerű, ha a térben magas értékű elektronikai eszközök, optikai rendszerek vagy más, vízre érzékeny berendezések találhatók. Ezek a rendszerek a teljes tér elárasztásán alapulnak, ahol az oltógáz a levegő oxigéntartalmát csökkenti, vagy kémiai úton megszakítja az égés láncreakcióját. Maradványmentes működésük révén nem okoznak kárt sem az érzékeny felületekben, sem a mikroelektronikai áramkörökben. A modellezések szerint a gázkoncentráció fenntartásához szükséges idő és térfogat arány kritikus tényező, melyet gondosan kell méretezni, különösen szellőztetett terekben (BAE ET AL. [2009]).

A vízködalapú oltórendszerek egyre szélesebb körben terjednek el a tisztaterek környezetében, mivel hatékonyan kombinálják a víz alapú és a gázalapú rendszerek előnyeit. A vízköd kis méretű vízcseppek formájában kerül a térbe, melyek gyors hőelvonást biztosítanak, miközben nem okoznak jelentős mechanikai vagy kontaminációs kárt. Félvezetőgyártási környezetben például igazolták, hogy a vízködoszlop hőmérséklet-csökkentő és égéstompító hatása jelentős mértékben csökkenti a tűz továbbterjedésének esélyét, miközben az eszközök sértetlenek maradnak (WANG ET AL. [2007]).

Összegzésképpen megállapítható, hogy a tisztaterekben alkalmazott oltórendszerek közötti választást nem pusztán a tűzoltási hatékonyság, hanem a technológiai és kontaminációs érzékenység, valamint az energiaellátási feltételek és a tér geometriája is alapvetően meghatározzák. A megfelelő megoldás kiválasztása minden esetben integrált mérnöki szemléletet igényel, amelyben az oltástechnika nemcsak biztonsági, hanem tisztatér-kompatibilitási kérdés is.

2.3 Az oltórendszerek fejlődése, szabályozási környezete és tervezése

A beépített tűzoltó rendszerek fejlődése nemcsak technikai, hanem szabályozási szempontból is jelentős átalakuláson ment keresztül az elmúlt másfél évszázad során. Az oltórendszerek mai formájukban összetett, automatizált rendszerek, amelyek hatékonysága és alkalmazhatósága a tűzoltáson túl környezetvédelmi, ipari, valamint építészeti és szabályozási követelményekkel is összefügg. A tisztaterekben alkalmazott rendszerek különösen érzékenyek ezekre az összefüggésekre. A következőkben áttekintjük az oltórendszerek történeti fejlődését, a hazai és nemzetközi szabványosítás főbb pontjait, a Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI) szerepét, valamint a SprinkCAD szoftver alkalmazhatóságát.

2.3.1. Az oltórendszerek történeti áttekintése

A beépített tűzoltó rendszerek fejlődése az ipari forradalom idejére nyúlik vissza. A korai rendszerek hőhatásra aktiválódó mechanizmusok voltak, amelyek kis lyukakon keresztül juttatták ki a vizet a védendő térbe. Ezek már képesek voltak önállóan helyi tüzeket eloltani, így megalapozták a későbbi rendszerek fejlődését.

A 20. század második felében az ipari épületek növekvő alapterülete és tárolómagassága új kihívásokat támasztott. Ennek hatására jöttek létre az ESFR (Early Suppression Fast Response) rendszerek, amelyek nagy nyomáson, rövid idő alatt jelentős vízmennyiséget juttattak a tűzfészerekre, ezzel biztosítva a gyors tűzelnyomást (WORMALD [1988]).

A lakossági alkalmazású rendszerek is jelentős fejlődésen mentek keresztül. Kísérleti vizsgálatok kimutatták, hogy a spray mintázata, a cseppek átmérője és sebessége egyaránt befolyásolja a hőelvonás hatékonyságát. A modern sprinklerfejeket úgy alakították ki, hogy optimális lefedettséget biztosítsanak, miközben a vízkár minimális szinten tartható (YUN ET AL. [2014]).

A vízködrendszerek új irányt képviselnek. Működésük során apró vízcseppek elpárolgása révén csökkentik a hőmérsékletet, ezáltal mérsékelve az égés intenzitását. Ez különösen előnyös olyan környezetekben, ahol a hagyományos sprinkler rendszerek vízhozama túl magas, vagy az érzékeny eszközök jelenléte indokol alternatív megoldást. A vízködrendszerek a 20. század végén terjedtek el, különösen a közlekedési és ipari szektorban (DUNCAN ET AL. [2012]).

Összegzésül megállapítható, hogy a beépített oltórendszerek fejlődése a technológiai innováció, a kockázatsökkentés és az alkalmazási környezetek folyamatos változásának eredménye, amely megalapozta a mai intelligens tűzvédelmi rendszerek létrejöttét.

2.3.2 A magyar sprinkler szabvány – MSZ EN 12845

Magyarországon a beépített tűzoltó berendezések – különösen az automatikus sprinkler rendszerek – tervezésére, kivitelezésére és karbantartására az MSZ EN 12845 [2015] szabvány vonatkozik, amely az európai EN 12845:2015 szabályozás magyar nyelvű adaptációja. A dokumentum részletes előírásokat tartalmaz a létesítésre, különös tekintettel a kockázati osztályok meghatározására, a hidraulikai paraméterekre, a sprinklerfejek elhelyezésére és az ellenőrzések rendjére.

A szabvány három fő kockázati osztályt különböztet meg:

- Low Hazard (LH) – alacsony kockázatú terek, például irodák,
- Ordinary Hazard (OH) – közepes kockázatú területek, mint könnyűipari üzemek,
- High Hazard (HH) – nagy tűzterhelésű környezetek, például éghető folyadékokat kezelő technológiák (TVMI 6.1:2015).

Mindegyik kategóriához külön tervezési paraméterek tartoznak, vízhozam- és nyomásértékek, sprinklerfejek maximális távolsága, csőhálózat méretezése, valamint a vízellátás redundanciája. A szabvány rögzíti a karbantartási ciklusokat is, például az éves működéspróbát, a sprinklerfejek állapotvizsgálatát vagy a vízellátó rendszer ellenőrzését.

Fontos kiemelni, hogy az MSZ EN 12845 [2015] nem tartalmaz specifikus irányelveket tisztaterekre. Ezekben a levegő részecsketartalma, hőmérséklete és páratartalma is szigorúan szabályozott. Ilyen terek például gyógyszergyártó izolátorok, mikrochip-gyártó helyiségek vagy biotechnológiai laborok. A hagyományos sprinkler itt nem alkalmazható kockázat nélkül, mivel a vízpermet kontaminációt, környezeti károsodást és eszközhibát okozhat (NFPA 13 [2022]).

A nemzetközi szabványok – például az NFPA 75 vagy az ISO 14644-4 – alternatív megoldásokat javasolnak, például inertgázos vagy vízködalapú oltórendszereket, amelyek maradványmentesek és nem veszélyeztetik a tisztatér funkcióját (DUNCAN ET AL. [2012]).

A magyar szabályozás jelenleg nem nyújt célzott keretrendszert a tisztaterek tűzvédelmére, ami bizonytalanságot okoz a tervezésben és az üzemeltetésben. A nemzetközi ajánlások hazai adaptálása, illetve új, speciális magyar szabvány kidolgozása a jogalkotás és a high-tech ipar szempontjából is indokolt lenne.

2.3.3 Hazen–Williams-képlet

A Hazen–Williams-képlet a vízbázisú tűzvédelmi sprinkler rendszerek egyik legelterjedtebben alkalmazott hidraulikai számítási módszere. Fő előnye az egyszerű felépítése, valamint az, hogy turbulens áramlási viszonyok között, szobahőmérsékletű vízzel működő rendszerekben megbízható eredményeket nyújt (MEYERFIRE, [2020]). A képlet nem

veszi figyelembe a közeg viszkozitását vagy hőmérsékletfüggését, ezért alkalmazása kifejezetten tiszta vízre optimalizált.

A Hazen–Williams-képlet szabványos formája az 1. képen látható.

$$h_f = 0,2083 \cdot \left(\frac{100}{C} \right)^{1,852} \cdot \frac{Q^{1,852}}{d^{4,8655}}$$

1. kép: Hazen–Williams-képlet. *Forrás: MEYERFIRE. (2020) Understanding the Hazen–Williams Formula.*

ahol:

- h_f : nyomásveszteség [láb / 100 láb csőhossz],
- C : érdességi tényező,
- Q : térfogatáram [gallon/perc],
- d : cső belső átmérője [hüvelyk].

A képlet különösen hasznos kis- és közepes kiterjedésű tűzvédelmi csőhálózatok méretezésekor, ahol elsődleges cél a gyors méretezhetőség, nem pedig a laboratóriumi pontosság (SCIENCEDIRECT, [2024]). Az NFPA 13 szabvány szerint új acélcsövek esetében az érdességi együttható $C = 120$, míg öregedett vagy korrodált vezetékek esetén 100 alá is csökkenhet (NFPA 13, [2022]).

Fontos korlátozás ugyanakkor, hogy a képlet nem alkalmazható olyan rendszerek esetén, ahol a közeg viszkozitása eltér a víztől. Tipikusan ilyenek:

- glikolos hűtőközeget tartalmazó hálózatok,
- vízkődalapú oltórendszerek.

Ezekben az esetekben a Darcy–Weisbach-formulát javasolt alkalmazni, amely a Reynolds-szám és a fűvókageometria alapján pontosabb nyomásveszteség-számítást tesz lehetővé (VIKING GROUP, [2019]).

A szakirodalom alapján a Hazen–Williams-formula széles körű gyakorlati alkalmazást nyert ipari sprinkler rendszerekben, mivel a tervezés egyszerűségét ötvözi a megfelelő mérnöki pontossággal (DUNCAN ET AL. [2012]). A jelen dolgozat hidraulikai számításai során ezen képletet alkalmazom, a kiválasztott csőanyaghoz és rendszerparaméterekhez illesztett együtthatókkal.

2.3.4 A beépített oltórendszerek Tűzvédelmi Műszaki Irányelve (TvMI)

A Tűzvédelmi Műszaki Irányelvek (TvMI-k) nem kötelező érvényű, de hatóságilag elfogadott dokumentumok, amelyek az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ [2014]) szerinti

tűzbiztonsági szint elérését támogatják. Céljuk, hogy a tervezők, kivitelezők és hatóságok számára egységes, értelmezhető műszaki megoldásokat kínáljanak, különösen olyan esetekben, amelyek nem esnek közvetlenül nemzeti vagy nemzetközi szabvány hatálya alá. A 2024. februárban megjelent aktuális TvMI részletes követelményeket határoz meg a vízzel, gázzal, vízköddel, aeroszollal és habbal működő oltórendszerek tervezésére és dokumentálására. Előírja a kötelező vizsgálatokat (pl. nyomás- és működéspróba), továbbá javaslatokat ad a környezeti paraméterekre, a sprinklerfejek típusaira és a vezérlés kialakítására is.

A dokumentum azonban nem tartalmaz önálló irányelvet a tisztaterek tűzvédelmi szempontjaira. Bár szerepelnek ajánlások speciális környezetre (pl. ESFR-fejek, nagy K-érték), a tisztaterek nem jelennek meg külön kategóriaként, és hiányoznak a higiéniai és kontaminációs szempontok is. Ez különösen problémás, tekintettel a tisztaterek technológiai érzékenységre és ipari jelentőségére. Tervezési szempontból így kizárólag nemzetközi szabványokra (pl. FM Global, NFPA 75, ISO 14644-4) és gyártói ajánlásokra lehet hagyatkozni – ezek bár szakmailag megalapozottak, jogi szempontból kevésbé egyértelműek.

2.3.5 Az MSZ EN 12845 és az FM Global (FM 8-9) szabvány szerinti sprinkler rendszerek összehasonlító elemzése

Szakirodalom kutatásom során fontosnak tartom kiemelni ezt a fejezetet, mivel a tisztaterekre vonatkozóan nem tartalmaz részletes előírásokat a magyar szabvány. A beépített vízzel oltó berendezések alkalmazása a tűzvédelmi tervezés egyik leggyakoribb és leghatározottabb területe. Noha a szabvány és az FM Global célja az automatikus oltás biztosítása, a módszertanban és a rendszerfilozófiában érdemi különbségek figyelhetők meg.

Az MSZ EN 12845 a sprinkler rendszerek kialakítását a kockázati osztályok alapján határozza meg (OH – Ordinary Hazard, HH – High Hazard stb.), míg az FM Global az anyag- és tevékenység alapú veszélyességi besorolás szerint (pl. HHS – High Hazard Storage, EHS – Extra Hazardous Storage). Ez utóbbi szofisztikáltabb, mert nemcsak a tűzveszélyességi jellemzőket, hanem a tárolási magasságot, a csomagolás típusát és a légáramlásokat is figyelembe veszi (FM GLOBAL [2018]);

Célrendszer szintjén is elválás tapasztalható, az európai szabvány deklarált célja az élet- és vagyonbiztonság együttes védelme (MSZT [2015]), míg az FM Global kiemelten a vagyonvédelemre, valamint az üzletmenet folytonosságának garantálására koncentrál (FM GLOBAL [2018]; BEDA [2011]).

Az alkalmazott szórás intenzitás és biztonsági tartalékok mennyisége is magasabb az FM rendszerek esetében. Az FM-rendszerek jellemzően 12–18 szórófej működésével számolnak,

míg az EN 12845 nem fix szórófejszámmal, hanem a védett terület nagysága alapján határozza meg a szükséges lefedettséget. Az FM Global rendszer biztosítási szempontból konzervatívabb és nagyobb biztonsági tartalékkal dolgozik (VASS [2020]).

A dokumentációs és engedélyezési eljárások tekintetében az FM Global saját belső megfelelőségi rendszerrel rendelkezik (FM APPROVALS [2022]), amely minden egyes komponensre (szelep, csővezeték, vezérlés stb.) külön minősítést ír elő. Ezzel szemben az MSZ EN 12845 az EN-szabványok szerinti megfelelőségi tanúsítást írja elő (MSZT [2015]).

Az alábbi 2. táblázat a legfontosabb különbségeket foglalja össze.

2. táblázat Az MSZ EN 12845 és az FM 8-9 szabvány szerinti sprinkler rendszerek összehasonlítása <i>Forrás: MSZT [2015], FM Global [2018], Vass [2020] alapján</i>		
Tervezési szempont	MSZ EN 12845	FM Global (FM 8-9)
Alapelv	Kockázati osztályon alapuló	Veszélyességi osztályon (hazard-based) alapuló
Védelem célja	Élet- és vagyonbiztonság	Vagyonvédelem és üzletfolytonosság
Osztályozási rendszer	OH, HH, HHP stb.	OH, HHS, HHP, EHS, EHP
Szórási intenzitás	5–12 mm/perc	7,5–15 mm/perc vagy magasabb
Méretezés alapja	Védett terület	Aktivált szórófejek száma (12–18 jellemzően)
Szelepek, szerelvények	EN tanúsítás	FM Approvals minősítés
Dokumentáció, eljárásrend	Részletes európai szabvány	Szigorú gyártói megfelelőségi rendszer

Fontos megjegyezni, hogy mindkét rendszer alkalmazható önállóan is. Ugyanakkor FM biztosítóval rendelkező létesítmények esetén kizárólag az FM Global szabályzatai érvényesek, még akkor is, ha a nemzeti szabályozás vagy a beruházó más rendszert is elfogadna.

2.3.6. A SprinkCAD alkalmazása

A Johnson Controls által fejlesztett SprinkCAD egy komplex CAD-alapú eszköz, amely az automatikus sprinkler rendszerek tervezését, hidraulikai számítását és dokumentálását komplexen támogatja. A SprinkCAD nemcsak önálló tervezőeszközként használható, hanem számos modullal integrálható például az Autodesk Revit környezetébe is (JOHNSON CONTROLS).

A SprinkCAD moduláris felépítésű. A legismertebb modulok közé tartozik a SprinkCAD 3D, amely lehetővé teszi a sprinkler rendszer térbeli, háromdimenziós modellezését. Ennek segítségével a csővezetékek, sprinklerfejek és egyéb szerelvények pontosan elhelyezhetők az épület szerkezetén belül, minimalizálva az épületgépészeti rendszerek közötti ütközéseket (JOHNSON CONTROLS).

A SprinkCAD for Revit modul a BIM-alapú épületmodellezésben részt vevő szakágak koordinált tervezését támogatja, lehetővé téve a sprinkler rendszerek közvetlen beillesztését az építészeti és gépészeti modellekbe. Ez különösen előnyös nagyléptékű, komplex ipari beruházások esetében (JOHNSON CONTROLS).

A SprinkCALC modul biztosítja a hidraulikai számítások elvégzését, amely során a rendszer térfogatárama, nyomásviszonyai és nyomásvesztései meghatározhatók a vonatkozó szabványok – például az MSZ EN 12845 – alapján. A SprinkCALC a Hazen–Williams-formula alapján végzi a számításokat, figyelembe véve a csőanyagok érdességi tényezőit és a vízszállítási követelményeket (JOHNSON CONTROLS).

A SprinkSLIC modul az automatikus gyártási dokumentációk, például csőhosszlisták, darabjegyzékek, szerelési és anyagkimutatási rajzok generálását végzi. Ez jelentős mértékben hozzájárul a kivitelezés hatékonyságához és a hibák elkerüléséhez.

A jelen szakdolgozat során a SprinkCAD szoftver alkalmazása két célt szolgált: a tervezett sprinkler rendszer háromdimenziós modelljének létrehozását a SprinkCAD 3D segítségével és a szükséges hidraulikai számítások elvégzését a SprinkCALC használatával keresztül. A szoftver használata lehetővé tette, hogy a rendszer méretezése mind geometriai, mind hidraulikai szempontból pontos és a szabványi előírásoknak megfelelő legyen.

A SprinkCAD előnye, hogy az egyes modulok integráltan működnek, így csökkenthető a tervezési hibák esélye. Hátránya ugyanakkor, hogy teljes funkcionalitása csak fizetős licenc mellett érhető el, ami korlátozhatja az oktatási célú vagy kis volumenű projektekben való alkalmazását.

2.4. Nemzetközi gyakorlat és szabványi háttér

2.4.1. Nemzetközi szabványok és ajánlások

A tiszttaterek tűzvédelmi rendszerének kialakítása során nem kizárólag a közvetlen tűzoltási műszaki paraméterekre szükséges figyelemmel lenni, hanem azokra a nemzetközi szabványokra is, amelyek egységes keretrendszert biztosítanak a minőségirányítás, a környezetvédelem és a munkabiztonság területén. Kiemelt jelentőséggel bír az ISO 9001:2015, amely a minőségirányítási rendszerek követelményeit határozza meg, valamint az ISO 14001:2015, amely a környezeti hatások szabályozását célozza. Emellett az ISO 45001:2018 a

munkahelyi egészségvédelem és biztonság aspektusait emeli ki. Ezeknek a szabványoknak az alkalmazása biztosítja, hogy a tűzvédelmi rendszerek ne csupán technikai, hanem szervezeti és üzemeltetési szempontból is fenntartható módon működjenek.

2.4.2. Esettanulmányok és példák

A nemzetközi ipari és technológiai gyakorlat számos olyan példát kínál, amely alapján következtetéseket vonhatunk le a tiszttaterekben alkalmazott beépített oltórendszerek előnyeiről és korlátairól. Az alábbi esetek jól szemléltetik a szabványos megközelítések sikerességét, illetve hiányuk következményeit.

Egy németországi gyógyszeripari vállalat új létesítményének tervezése során a tűzvédelmi rendszert az ISO 9001 és ISO 14001 szabványok mentén integrálták. A tiszttatérben vízköddel működő oltórendszert alkalmaztak, amely képes hatékonyan csökkenteni a hőmérsékletet és elfojtani a tüzet anélkül, hogy veszélyeztetné a sterilitást vagy a termékminőséget. A projekt eredményeként nemcsak a tűzvédelmi biztonság nőtt, hanem a környezeti terhelés is mérséklődött (ISO, [2015A]; ISO, [2015B]).

Egy japán gyártóüzemben, amely tiszttatéri környezetben nagy érzékenységgű elektronikai eszközöket állít elő, a munkavédelem került a tervezés fókuszába. Az ISO 45001 szabványt követve olyan gázalapú oltórendszert építettek ki, amely gyors reagálású és nem okoz kárt az eszközökben. A rendszer emellett automatikus hőérzékelő szenzorokkal is kiegészült, biztosítva a gyors detektálást és beavatkozást (ISO, [2018]).

Az Egyesült Államokban található biotechnológiai kutatóintézet tűzvédelmi rendszerét három szabvány – ISO 9001, ISO 14001 és ISO 45001 – együttes alkalmazásával alakították ki. Az oltórendszer teljes mértékben integrálódott a légtechnikai és biztonsági rendszerekbe, így lehetővé vált a kritikus laboratóriumi környezet folyamatos védelme anélkül, hogy a kutatásokat hátráltatta volna a védekezés technikai jelenléte (ISO, [2015A]; ISO, [2015B]; ISO, [2018]).

Negatív példa is volt sajnos a történelemben. Renesas Electronics, Japán 2021 márciusában tűz keletkezett a japán Renesas Electronics Naka gyárában, amely félvezetőket gyártott tiszttatéri körülmények között. A tűz 600 m²-nyi területet érintett, és 11 gyártóeszközt semmisített meg. A hivatalos jelentés szerint a tűz kiindulópontja egy túlterhelt galvanizáló berendezés volt, amely meggyújtotta a burkolatot és a tartályt. A gyárban nem működött megfelelő automatikus oltórendszer, és az oltás késlekedése miatt jelentős anyagi és gyártási veszteség keletkezett. Az eset rávilágított arra, hogy a speciális környezetekre vonatkozó tűzvédelmi tervezés hiánya súlyos működési kockázatot jelenthet (CLEANROOM TECHNOLOGY, [2021]).

3. A PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A szakdolgozat keretében önállóan elvégzendő mérnöki feladat célja egy konkrét létesítményhez illeszkedő, beépített tűzoltó rendszer részletes műszaki tervezése. A vizsgált létesítmény funkcionális sajátosságai, tűzveszélyességi osztályba sorolása és használati jellemzői alapján olyan oltórendszer kialakítása szükséges, amely nemcsak a hatályos jogszabályi és szabványi előírásoknak felel meg, hanem figyelembe veszi a rendelkezésre álló technológiai lehetőségeket, valamint az üzemeltetés során felmerülő gyakorlati szempontokat is.

A szakdolgozat célja egy teljes körű, végrehajtható tervezési dokumentáció elkészítése, amely az alábbi főbb tartalmi elemeket foglalja magában:

- az oltórendszer típusának és főbb műszaki paramétereinek meghatározása, beleértve az alkalmazott oltóanyagot,
- a szükséges komponensek elhelyezésének és működési elvének ismertetése,
- a tervezés során alkalmazott szabványok és méretezési módszerek részletezése.

A dolgozat kiemelt figyelmet fordít a választott műszaki megoldások indoklására, a rendszer fizikai működésének bemutatására, valamint a tervezési döntések mérnöki szempontú alátámasztására. A cél nem pusztán egy elvi koncepció felvázolása, hanem egy olyan részletes és gyakorlatban is megvalósítható terv kidolgozása, amely a kivitelezési fázis számára is releváns műszaki alapot nyújthat.

Ennek megfelelően az önálló mérnöki munkarész a beépített oltórendszer átfogó tervezési feladatának szakszerű feldolgozását, dokumentálását és mérnöki értékelését célozza.

4. BEÉPÍTETT OLTÓRENDSZER TERVEZÉS TISZTATÉRI KÖRNYEZETBEN

4.1 A sprinkler rendszer alkalmazásának indokolása tisztatérben

A tisztaterek különleges rendeltetése – legyen szó gyógyszeripari, elektronikai vagy biotechnológiai gyártásról – olyan működési környezetet követel meg, ahol a szennyeződések jelenléte minimálisra csökkenthető. Ezek miatt a szigorú feltételek miatt a vízalapú oltórendszerek, különösen a sprinkler rendszerek alkalmazása hosszú ideig megkérdőjelezett volt, mivel a víz jelentős károkat okozhat az érzékeny gyártóberendezésekben és termékekben. Mindezek ellenére számos műszaki és gazdasági szempont indokolhatja a sprinkler rendszer alkalmazását, feltéve, hogy a tervezés átfogó kockázatelemzésen és gondos előkészítésen alapul. Az egyik legfontosabb érv az automatikus működés, amely biztosítja, hogy tűzesemény esetén a rendszer emberi beavatkozás nélkül, már a tűz korai szakaszában beavatkozik. Ez különösen zárt, ritkán ellenőrzött vagy személyzet nélküli terekben kiemelten jelentős, ahol a tűz gyors terjedése súlyos következményekkel járhat. A sprinkler rendszerek globálisan elfogadott, szabványosított technológiát képviselnek, amelyek alkalmazásával a beruházók megfelelhetnek a nemzetközi szabályozási és biztosítási követelményeknek.

A gazdasági szempontok is a sprinkler rendszer alkalmazása mellett szólnak. A gázalapú oltórendszerek – bár technológiailag fejlettek és tisztatér-kompatibilisek – jelentősen magasabb beruházási és üzemeltetési költségekkel járnak. Továbbá a gázos rendszerekhez szükséges légtömörség és nyomáskiegyenlítés megvalósítása legtöbbször csak új építésű létesítményekben kivitelezhető gazdaságosan, míg meglévő épületek esetében jelentős többletráfordítást igényel.

A sprinkler rendszerek további előnye a lokális oltás lehetősége. A szórófejek egyenként, hőhatásra aktiválódnak, így a vízkibocsátás jellemzően a tűz közvetlen környezetére korlátozódik, minimálisra csökkentve a szükségtelen vízkárokat. Ez különösen előnyös többfunkciós tisztaterek esetében, ahol a különböző zónák eltérő érzékenységgel vagy tűzkockázattal bírnak. A lokális védelem műszaki megoldásokkal – például vízterelő, védőburkolatok, zónahatárok – tovább optimalizálható.

Higiéniai szempontból is alkalmazkodni tudnak a sprinkler rendszerek a tisztatér-követelményekhez. A rozsdamentes acél csővezetékek, a zárt mennyezeti áttörések és a rejtett szerelvények alkalmazása biztosítja, hogy a rendszer ne veszélyeztesse a tisztasági osztályt.

A sprinkler rendszerek könnyen integrálhatók más beépített tűzvédelmi rendszerekkel is. Az aspirációs füstérzékelőkkel vagy zónásított vezérléssel összekapcsolva olyan komplex

tűzvédelmi koncepciók alakíthatók ki, amelyek célzott, összehangolt védelmet nyújtanak a gyártási folyamat megszakítása nélkül.

Összességében megállapítható, hogy a sprinkler rendszer tisztatérben történő alkalmazása – megfelelő műszaki tervezéssel, kockázatalapú megközelítéssel és a speciális környezethez igazodó megoldásokkal – indokoltnak tekinthető. A döntést a konkrét gyártási paraméterek, a berendezések érzékenysége, valamint a gazdasági racionalitás figyelembevételével kell meghozni, a környezet sajátosságaira szabott műszaki és gazdasági szempontok alapján.

4.2 A tervezés kiinduló adatai

4.2.1 Tisztatér jellemzőinek és tűzvédelmi kockázatainak ismertetése

A vizsgált létesítmény egy gyártóüzem bővítése, amely ISO 14644-1 szerinti 8. osztályú, GMP D kategóriájú tisztatérrel rendelkezik. A zárt, HEPA-szűrt, túlnyomásos légtérrel a légtechnikai rendszer biztosítja a légtechnikai rendszer, automatikus hőmérséklet-, páratartalom- és nyomásszabályozással. A légtechnikai rendszer frekvenciaváltós ventilátorokkal és zsálmozgatókkal biztosítja a folyamatos túlnyomást.

A tűzvédelmi rendszer az épületautomatika integrált része: tűzjelzés esetén a légkezelők leállnak, a tűzcsappantyúk záródnak, a füst- és hőelvezetés automatikusan elindul. Az elszívó rendszer több független zónát kezel, évente kétszer tesztüzemmel ellenőrzik működését. A tűzvédelmi tervezés során figyelembe vették az MSZ EN 60079 (robbanásbiztos berendezések), az MSZ EN 62305 (villámvédelem) szabványokat, az OTSZ 54/2014. BM rendeletet, valamint FM Global követelményeket is.

A tisztatér technológiájában használt oldószerek közé tartozik a tetrahidrofurán, ciklohexanon, diklór-metán, valamint etanol és n-propanol, összesen kb. 1200 liter éghető folyadék tárolásával és felhasználásával. Az anyagok zárt rendszerben, helyi elszívással kerülnek felhasználásra, csökkentve a robbanásveszélyt. A gázérzékelők kétszintű riasztást biztosítanak, automatikus vészszellőztetéssel és villamos lekapcsolásokkal.

A tisztatér közepes kockázati osztályba (KK) tartozik az OTSZ alapján, figyelembe véve a 300 fős létszámot és az éghető anyagok jelenlétét. A kiürítési számítások szerint a megengedett t_1 érték 1,5 perc, amit aktív tűzvédelmi rendszerekkel 4,1 percre növeltek. A hő- és füstelvezetést hat zónára osztott gépi rendszer biztosítja, a légpótlás nyílásfelülete a számított értéket meghaladja.

Az épületszerkezetek minimálisan A2 R60, illetve A1 REI60 tűzállóságúak, tűzvédő bevonattal. A kritikus szerkezetek 350 °C kritikus hőmérséklettel lettek méretezve. A kiválasztott építőanyagok legalább A2-s1, d0 tűzvédelmi osztályúak. A padlóburkolatok Bfl-

s1 kategóriájúak. A tűzterjedés elleni védelmet a homlokzatok menti tűzgátló sávok biztosítják a TVMI 1.6 [2024] alapján.

4.2.2 Meglévő rendszer adatai és lényeges információi

Egy meglévő, jelenleg is üzemelő gyáregységen belül kerül sor a tisztatéri technológia bővítésére oly módon, hogy a már használatban lévő csarnokrészben 3,5 méteres magasságban álmennyezet létesül, valamint az oldalsó határoló elemek burkolása is megvalósul. A kialakítás célja, hogy a létesítendő tér megfeleljen a 8. osztályú tisztatéri követelményeknek. A terület korábban is gyártóterületként funkcionált, és az ott lévő sprinkler védelem jelen állapotában is megfelelő az álmennyezet feletti tér védelmére. A szakdolgozatomban emiatt a tervezés kizárólag a tisztatér védelmére koncentrál. Tekintettel arra, hogy a projekt egy bővítés, a meglévő sprinkler tartályt, szivattyúgépházat és alközpontot használok fel a tervezési feladat során. A meglévő épület sprinkler gépházában 2 darab PATTERSON 8X6 MI dízel sprinkler szivattyú üzemel, melyeknek a munkapontja $340 \text{ m}^3/\text{h}$, 10 bar. Vízforrás tekintetében egy 600 m^3 -es tartály áll rendelkezésre. A korábbi kivitelezés során 2 darab alközpontra került kiépítés, a jelenlegi átalakítás során a meglévő 2-es számú alközpont kerül majd bővítésre várhatóan egy riasztószeleppel. A szakdolgozati munkám keretében a kiválasztott létesítménybe tervezett beépített sprinkler oltórendszer műszaki kidolgozását végeztem el. A tervezés során figyelembe vettem a vonatkozó hazai és nemzetközi szabványokat, valamint az FM Global által közzétett tűzvédelmi előírásokat és műszaki irányelveket. A szakdolgozati feladatkiírástól eltérően, a tervezési rész nem a magyar szabványok, hanem az FM Global irányelvek alapján készült, mivel az irodalomkutatás során egyértelműen kiderült, hogy a hazai szabványrendszer – különösen az MSZ EN 12845 – nem tartalmaz kifejezetten a tisztaterekre vonatkozó előírásokat. Ezzel szemben az FM Global műszaki irányelvei, különösen az FM Datasheet 5-48, részletesen foglalkoznak a tisztaterek tűzvédelmi sajátosságaival és az azokhoz illeszkedő oltórendszerek követelményeivel. A dolgozatban ezért indokolt az FM-rendszerű megközelítés következetes alkalmazása.

Az önálló mérnöki munkám keretében elvégeztem a sprinkler rendszer működéséhez szükséges vízhozam- és nyomásigény-számításokat, valamint a csőhálózat fő geometriai kialakítását és a szórófejek kiosztását. A döntési folyamat során több megoldási alternatívát is összehasonlítottam, és az ezekhez tartozó tervezési paramétereket mérnöki indoklással alátámasztottam.

A rendszer tervezését szoftveres számítási segédeszközökkel is validáltam, a bemeneti adatok és eredmények dokumentálásával. A szakdolgozatban szereplő számítások, elrendezési

vázlatok és mérnöki következtetések a saját munkavégzésem alapján, külső konzulensi támogatással.

4.2.3 A tervezés során felhasznált szabványok és előírások:

- MSZ EN 12845:2015
- TVMI 6.5:2024.02.01
- OTSZ (54/2014. (XII. 5.) BM rendelet)
- FM Global

4.2.4 Technológiai folyamat

A gyártási folyamat elsődleges alapanyagai közé tartoznak a PVC (polivinil-klorid) és PUR (poliuretán) típusú műanyagok, amelyekből különböző átmérőjű és mechanikai tulajdonságú csövek készülnek. A csőprofilok előállítása korszerű extrudáló technológiával történik, amely stabil, reprodukálható folyamatparaméterek mellett biztosítja a termékek méret- és alakpontosságát. A folyamatos gyártási minőséget fejlett ellenőrző és szabályozó rendszerek garantálják, amelyek valós idejű adatvisszacsatolással szabályozzák a gyártósor működését.

Az extrudálással előállított csöveket a gyártósoron azonnal méretre darabolják, adott esetben perforálják, illetve a rendeltetésüknek megfelelő színezéssel látják el őket. A gyártási ciklus végén a csöveket vízzel leöblítik, egyedi azonosító jelöléssel látják el, majd rendszerezett tárolásra kerülnek előkészítés céljából a további szerelési műveletekhez.

A termékszerelés túlnyomórészt kézi munkavégzéssel történik, amelynek során a különböző méretű műanyag csöveket és az illesztésükhöz szükséges idomokat, szerelvényeket – oldószeres vagy ragasztásos technológiával – végleges kötéssel rögzítik. A kézi szerelési folyamatok során kiemelt szerepet kap az alkatrészek geometriai pontossága, valamint a kötési technológia kompatibilitása a felhasznált anyagokkal. A kialakított egységek megfelelőségét a gyártási előírások szerint végzett vizsgálatokkal ellenőrzik.

A felhasznált alapanyagok közé tartozik a nem habosított poliuretán (PUR), polietilén (PE), polipropilén (PP), ABS, MABS, szilikon és PVC.

4.4 Kockázati besorolás

4.4.1 MSZ szerinti besorolás

A fent részletezett kiinduló adatok alapján az MSZ EN 12845 [2015] szabvány „A” mellékletének „A.3” táblázatát használtam fel a kockázati besorolás meghatározásához, ezt a 2. képen lehet látni. A melléklet besorolási útmutatójának alkalmazásával az újonnan kialakított tisztatér a HHP1 (High Hazard Process Group 1) kategóriába sorolható. Ez a

besorolás a gyártási technológia sajátosságai, a tárolt anyagok jellege, valamint az éghető anyagterhelés alapján indokolt.

Amennyiben a gyártási tevékenységet nem ebben a tisztatérben végeznék, tehát nem minősülne tisztatéri termelési környezetnek, az OH3 (Ordinary Hazard Group 3) kategóriába sorolás is indokolható. Ebben az esetben alacsonyabb tűzterheléssel lehetne számolni, így a szabvány szerinti védelmi követelmények is enyhébbek volnának.

Table A.3 — High Hazard Process occupancies

HHP1	HHP2	HHP3	HHP4
Floor cloth and linoleum manufacture	Fire lighter manufacture	Cellulose nitrate manufacture	Firework manufacture
Resin, lamp black and turpentine manufacture	Tar distilling	Rubber tyres for cars and lorries	
Rubber substitute manufacture	Depots for buses, un-laden lorries and railway carriages	Manufacture of material factor m3 (see Table B.1) foam plastics, foam rubber and foam rubber goods manufacture (excluding m4 see Table B.1)	
Wood wool manufacture	Candle wax and paraffin manufacturers		
Match manufacturers	Paper machine halls		
Paint application shops with solvent	Carpet factories including rubber and foam plastics		
Refrigerator factories	Saw mill		
Printing works	Chipboard manufacturing (A) (see NOTE) (A)		
Cable factories for PP/PE/PS or similar burning characteristics other than OH3	Paint, colour and varnish manufacture		
Injection moulding (plastics) for PP/PE/PS or similar burning characteristics other than OH3			
Plastics factories and plastic goods (excluding foam plastics) for PP/PE/PS or similar burning characteristics other than OH3			
Rubber goods factories			
synthetic fibre factories (excluding acrylic)			

2. kép: Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány A mellékletének A.3 táblázatának releváns részlete.

A kockázati besorolás meghatározása után következett a sprinkler rendszer tervezéséhez szükséges kiinduló paraméterek kiválasztása. Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 3. számú táblázata alapján meghatároztam a fajlagos víztérfogatóáramot [mm/perc], valamint a hidraulikai számításhoz szükséges számítási védőfelület nagyságát [m²]. Ezek az adatok elengedhetetlenek a megfelelő sprinkler rendszer kialakításához és a tűzvédelmi szempontból megfelelő teljesítmény biztosításához. A 3. képen láthatjuk, hogy a minimális intenzitás 7,5 mm/perc és a vizsgálandó védőfelület mérete 260 m².

Table 3 — Design criteria for LH, OH and HHP

Hazard Class	Design Density mm/min	Area of Operation m ²	
		Wet or pre-action	Dry or alternate
LH	2,25	84	Not allowed Use OH1
OH1	5,0	72	90
OH2	5,0	144	180
OH3	5,0	216	270
OH4	5,0	360	Not allowed Use HHP1
HHP1	7,5	260	325
HHP2	10,0	260	325
HHP3	12,5	260	325
HHP4	deluge (see NOTE)		
NOTE	Needs special consideration. Deluge systems are not covered by this standard.		

3. kép: Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 3. táblázatának releváns részlete.

További fontos tervezési adatokat az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 19. számú táblázata szolgáltatott, ez a 4. képen látható. Innen olvasható ki a sprinklerfejek maximálisan lefedhető területe [m²], illetve a köztük megengedett legnagyobb távolság [m]. Ezek a paraméterek közvetlenül befolyásolják a sprinklerfejek kiosztását és a csőhálózat geometriáját. A táblázat szerint egy darab sprinklerfej maximum 9 m²-es területet fedhet le és a szórófejek közti megengedett legnagyobb távolság 3,7 m lehet.

Table 19 — Maximum coverage and spacing for sprinklers other than sidewall

Hazard class	Maximum area per sprinkler	Maximum distances as shown in Figure 8 m		
		Standard layout	Staggered layout	
	m ²	S and D	S	D
LH	21,0	4,6	4,6	4,6
OH	12,0	4,0	4,6	4,0
HHP and HHS	9,0	3,7	3,7	3,7

4. kép: Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 19. táblázatának releváns részlete.

A hidraulikai számításhoz szükséges egyéb alapadatok az MSZ EN 12845 [2015] szabvány további pontjaiból származnak. A sprinkler rendszer minimális üzemi üzemidejét [perc] a szabvány 8.1.1 pontja írja elő, ami az 5. képen látható. Az egyes sprinklerfejek minimálisan biztosítandó kifolyási nyomását [bar] a 13.4.4 pont határozza meg, ez jelen esetben 0,5 bar, ez a 6. képen került feltüntetésre. Ezek az adatok biztosítják, hogy a tűzoltó rendszer nemcsak a kialakuló tűz korai szakaszában képes a megfelelő oltási teljesítményre, hanem a tűz terjedése esetén is fenntartható a hatékony működés, estünkben ez 90 percig.

8 Water supplies

8.1 General

8.1.1 Duration

Water supplies shall be capable of automatically furnishing at least the required pressure/flow conditions of the system. If the water supply is used for other firefighting systems, see 9.6.4, except as specified in the case of pressure tanks, each water supply shall have sufficient capacity for the following minimum durations:

- LH 30 min
- OH 60 min
- **HHP 90 min**
- HHS 90 min

5. kép: Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 8.1.1 pontjának releváns részlete.

13.4.4 Minimum sprinkler discharge pressure

The pressure at the hydraulically most unfavourably situated sprinkler, when all the sprinklers in the area of operation are in operation, shall be not less than that required to achieve the density specified in 13.4.1 or the following, whichever is the higher:

- 0,70 bar in LH;
- 0,35 bar in OH;
- **0,50 bar in HHP and HHS except for in-rack sprinklers**
- 1,00 bar for K 115 in-rack sprinklers;
- 2,00 bar for K 80 in-rack sprinklers.

6. kép: Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 13.4.4. pontjának releváns részlete.

4.4.2 FM Global szerinti besorolás

A tisztatéri gyártóterület tűzvédelmi szempontú kockázati besorolását az FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 3-26 („Fire Protection for Nonstorage Occupancies”), az FM 8-9 („Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”), valamint az FM 2-0 („Installation

Guidelines for Automatic Sprinklers”) szabályzatai alapján történt a besorolás, figyelembe véve a létesítmény technológiai folyamatait, a tárolt anyagok jellemzőit, valamint a tárolási körülményeket és elrendezést.

Első lépésként a 2-0-ás adatlap általános irányelveit tekintettem át, majd az előzetesen rendelkezésre álló információk alapján áttértem a 3-26-os adatlapra, amely a nem raktározási célú építmények tűzvédelmére vonatkozik. A Fig. 2.2.1 számú folyamatábrát követtem egészen a tárolási magasság és az anyagjellemzők elemzéséig. Az ezekhez szükséges adatokat az FM 8-9 adatlap tartalmazza, és ennek alapján született meg az első konkrét besorolási megállapításom.

A gyártás során többféle polimer alapanyagot dolgoznak fel, többek között poli(vinil-klorid) (PVC), polietilén (PE), polipropilén (PP), akrilnitril-butadién-sztirol (ABS), metakrilát-akrilnitril-butadién-sztirol (MABS), valamint szilikon alapú anyagokat. Az FM Global 8-9 adatlap anyagbesorolása alapján ezek az úgynevezett „*unexpanded plastic commodities*” csoportba tartoznak. Ez a kategória azokat a szilárd, nem habosított műanyagokat foglalja magában, amelyek tömör, nem porózus szerkezetűek. Égésük során jelentős hőenergia szabadul fel, amely jelentős hő- és égéstermék-képződéssel jár, ez fokozza a tűz súlyosságát és gyors terjedését.

Tűzvédelmi szempontból ezekre a műanyagokra jellemző, hogy bár viszonylag magas gyulladási hőmérséklettel rendelkeznek, égésük közben hirtelen nagy hőmennyiség szabadul fel. A hőhatás következtében meglágyulnak, megolvadnak, majd csepegvé tovább táplálják a tüzet, ezzel jelentősen fokozva a tűzterjedés sebességét. Kiemelten fontos figyelembe venni, hogy a PVC égése során korrozív és mérgező gázok – például hidrogén-klorid (HCl) – szabadulhatnak fel, melyek károsíthatják az épületgépészeti rendszereket és egészségügyi kockázatot is jelentenek.

A gyártócsarnokban a félkész és késztermékek tárolása a „*solid piled in-process storage of uncartoned unexpanded plastic*” konfiguráció szerint történik. Ez azt jelenti, hogy a termékeket nem egyenként kartonozva vagy raklapozva helyezik el, hanem egymásra halmozva, szabad formában, ideiglenesen tárolják a gyártási folyamat köztes fázisaiban. Az FM Global definíciója szerint a „*solid piled*” tárolás tömör elrendezést jelent, amelyben minimális a levegőrészek száma a műanyag egységek között. Ez az elrendezés kedvez a hő gyors áttérjedésének, mivel a szellőzés korlátozott, így a láng és a hő akadálytalanul terjedhet a halmaz rétegei között. A szűk levegőrészek következtében az égési hő gyorsan akkumulálódik, ezzel tovább gyorsítva a tűzterjedést és növelve annak intenzitását.

Mivel a tárolás „in-process” jellegű, tehát nem állandó, hosszú távú raktározásról van szó, hanem a gyártási műveletekhez kapcsolódó, folyamatosan változó mennyiségű anyag ideiglenes elhelyezéséről, a rendszeres mozgatásból adódó tárolási rendezetlenségek további tűzvédelmi kockázatot jelentenek. Az így kialakuló, nagy koncentrációjú éghetőanyag-halmazok miatt az oltórendszer tervezése során szigorúbb feltételeket kell figyelembe venni, különös tekintettel a sprinkler rendszer gyors reakcióidejére, a hatékony hő- és füstérzékelésre, valamint a megfelelő hő- és füstelvezetésre.

Ezt követően visszatértem az FM 8-9 adatlap Fig. 1. számú táblázatához, majd a megfelelő lépések követése révén eljutottam az 5. számú táblázathoz, mely részletesen ismerteti a solid piled, uncartoned, unexpanded plastic tárolásra vonatkozó védelmi követelményeket. Eszerint a szorosan elhelyezett, csomagolatlan műanyag termékek tűzterjedési veszélye fokozott, mivel a szellőzés minimális, a hő pedig gyorsan átadódik a szomszédos rétegeknek. A védelem szempontjából a belmagasság kulcsfontosságú paraméter: ha az meghaladja a 3 métert (10 lábat), szigorúbb védelmi intézkedések szükségesek. Ez a tárolási mód az FM értelmezése szerint a legkedvezőtlenebb égési viselkedésű kategóriák közé tartozik, amely intenzív sprinkler védelmet igényel. Jelen esetben ez legalább 12 darab K160 típusú gyors reagálású sprinklerfejet jelent, egyenként minimum 2,8 bar üzemi nyomással. Ezeknek az adatoknak a kiolvasásában a 7. kép segít.

Table 5] Ceiling-Level Protection Guidelines for Uncartoned Unexpanded Plastic Commodities in a Solid-Piled, Palletized, Shelf, or Bin-Box Storage Arrangement

Protection of Uncartoned Unexpanded Plastic Commodities in Solid-Piled, Palletized, Shelf, and Bin-Box Arrangements, No. of AS @ psi (bar)

Max. Ceiling Height, ft (m)	Wet System, 160°F (70°C) Nominally Rated, Pendent Sprinklers										Wet System, 160°F (70°C) Nominally Rated, Upright Sprinklers										Dry System, 280°F (140°C) Nominally Rated, Upright Sprinklers		
	Quick Response					Standard Response					Quick Response					Standard Response					Standard Response		
	K11.2 (K160)	K14.0 (K200)	K16.8 (K240)	K22.4 (K320)	K25.2 (K360)	K25.2EC (K360EC)	K11.2 (K160)	K14.0 (K200)	K19.6 (K280)	K25.2 (K360)	K11.2 (K160)	K14.0 (K200)	K16.8 (K240)	K25.2EC (K360EC)	K11.2 (K160)	K16.8 (K240)	K25.2 (K360)	K11.2 (K160)	K16.8 (K240)	K25.2 (K360)	K11.2 (K160)	K16.8 (K240)	K25.2 (K360)
10 (3.0)	12 @ 16 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 7 (0.5)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 20 (1.4)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 7 (0.5)	6 @ 20 (1.4)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 7 (0.5)	12 @ 7 (0.5)	16 @ 10 (0.7)	16 @ 7 (0.5)	16 @ 7 (0.5)			
20 (6.0)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 26 (1.8)	12 @ 18 (1.2)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 30 (2.1)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 26 (1.8)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 8 (0.6)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 26 (1.8)	12 @ 18 (1.2)	6 @ 30 (2.1)	12 @ 40 (2.8)	12 @ 18 (1.2)	12 @ 8 (0.6)	16 @ 40 (2.8)	16 @ 18 (1.2)	16 @ 8 (0.6)			
25 (7.5)	12 @ 50 (3.5)	9 @ 50 (3.5)	9 @ 35 (2.4)	9 @ 20 (1.4)	9 @ 20 (1.4)	6 @ 38 (2.6)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 32 (2.2)	12 @ 16 (1.1)	12 @ 10 (0.7)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 32 (2.2)	12 @ 22 (1.5)	6 @ 38 (2.6)	12 @ 50 (3.5)	12 @ 22 (1.5)	12 @ 10 (0.7)	20 @ 50 (3.5)	20 @ 22 (1.5)	20 @ 10 (0.7)			
30 (9.0)	25 @ 50 (3.5)	9 @ 100 (6.8)	9 @ 70 (4.8)	9 @ 50 (3.5)	9 @ 40 (2.8)	12 @ 38 (2.6)	25 @ 50 (3.5)	25 @ 32 (2.2)	25 @ 16 (1.1)	25 @ 10 (0.7)	25 @ 50 (3.5)	25 @ 32 (2.2)	25 @ 22 (1.5)	12 @ 38 (2.6)	25 @ 50 (3.5)	25 @ 22 (1.5)	25 @ 10 (0.7)	30 @ 50 (3.5)	30 @ 22 (1.5)	30 @ 10 (0.7)			
35 (10.5)				12 @ 63 (4.3)	12 @ 50 (3.5)																		
40 (12.0)				12 @ 75 (5.2)	12 @ 60 (4.1)																		

7. kép: FM 8-9 („Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”) 5. táblázat. *Forrás:*

FM Global

Miután a sprinklerfejek kiválasztásra kerültek, az elhelyezésüket [m] határoztam meg és az egy fej által védett területet [m²] az 1. táblázat irányelvei szerint határoztam meg; az erre vonatkozó adatok a 8. képen láthatók. A táblázat alapján a szórófejek távolsága 2,4 m és 3,6 m között kell legyen, és egy darab fejnek 7,5 m² és 9 m² közötti területet kell lefednie.

Table 1. Spacing of Ceiling-Level Storage Sprinklers Under Unobstructed Ceiling Construction

Ceiling Height, ft (m)	Sprinkler K-Factor	Sprinkler Orientation	Sprinkler Response	Sprinkler Linear Spacing, ft (m)		Sprinkler Area Spacing, ft ² (m ²)	
				Min.	Max.	Min.	Max.
Up to 30 (9.0)	11.2 (160)	Pendent or Upright	Quick or Standard	8 (2.4)	12 (3.6)	80 (7.5)	100 (9.0)
	14.0 (200), 16.8 (240), 19.6 (280), 22.4 (320), 25.2 (360), 28.0 (400), 33.6 (480)	Pendent	Quick or Standard	8 (2.4)	12 (3.6)	64 (6.0)	100 (9.0)
		Upright	Quick	8 (2.4)	12 (3.6)	64 (6.0)	100 (9.0)
			Standard	8 (2.4)	12 (3.6)	80 (7.5)	100 (9.0)
		Pendent or Upright	Quick	10 (3.0)	14 (4.2)	100 (9.0)	196 (18.0)

8. kép: FM 8-9 („Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”) 1. táblázat. *Forrás:*

FM Global

Ezt követően a Fig. 1-es folyamatábra elemzését folytattam. A következő fontos elem a tűzcsapok vízigénye [l/perc] és az ellátási idő [perc]. Bár ezek nem a sprinkler rendszerről vannak lekötve, a hidraulikai számításoknál figyelembe kell venni őket. A 14. táblázat segít ezek meghatározásához. A táblázat alapján a vízigény 950 l/perc, a rendszer működési ideje 60 perc. Ezeket az adatokat 9. kép illusztrálja.

Table 14. Hose Demand and Water Supply Duration Design Guidelines

Sprinkler Type by Spacing	No. of Sprinklers in Ceiling Design	Hose Demand, gpm (L/min)	Duration, min
Standard-coverage	Up to 12	250 (950)	60
	13 to 19	500 (1,900)	90
	20 or more	500 (1,900)	120
Extended-coverage	Up to 6	250 (950)	60
	^a 7 to 9	500 (1,900)	90
	10 or more	500 (1,900)	120

^a When the maximum linear spacing is 12 ft (3.7 m), the hose demand can be 250 gpm (950 L/min) and the duration can be 60 minutes.

9. kép: FM 8-9 („Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities”) 14. táblázat. *Forrás:*

FM Global

Ezzel az FM 8-9 adatlapot teljes egészében feldolgoztam. Az olyan feldolgozási technológiák, mint az extrudálás, csődarabolás, kézi szerelés stb., szintén növelik a tűzvédelmi kockázatot. Az FM 3-26 adatlap C-2 táblázata szerint az ilyen tevékenységek – különösen nem habosított műanyagok feldolgozása esetén – a Hazard Category 3 (HC-3) kategóriába tartoznak. Ez a besorolás azokra a területekre vonatkozik, ahol magas az éghetőanyag-koncentráció, és a gyors tűzterjedés, valamint az intenzív hő- és füstképződés kockázata számottevő. A pontos besorolási leírásokat a 10. kép szemlélteti.

Table C-2. Manufacturing Occupancies and Their Associated Fire Hazard Categories

Occupancy	Description	Hazard Category	Considerations
Mechanical Engineering or Assembly Plants	- Sheet Metal Product Factories - Metal-Working - Electric and Electronics Equipment Factories - White Goods Factories (Washing Machine, Dishwashing Machine, Refrigerator, Oven and Similar) - Circuit Board Manufacturing - Mobile Phone Production - Electrical and Electronic Testing Areas	HC-2	Data sheets to consider: - 7-6 Heated Plastic and Plastic Lined Tanks - 7-21, Rolling Mills - 7-29, Ignitable Liquid Storage in Portable Containers - 7-32, Ignitable Liquid Operations - 7-37, Cutting Fluids - 7-41, Oil Quenching and Molten Salt Baths
	- Aluminum Manufacturing - Injection-Molding Machines (Plastics) for PP/PE/PS or Similar - Electric and Electronics Equipment Factories with Large Amounts of Plastic Boxes - Manufacturing/Assembly of Wind Turbines - Manufacturing/Assembly of Aircraft - Manufacturing/Assembly of Boats, Highway Trailers, Trucks, Boxcars, Mobile Homes, or Similar - Manufacturing/Assembly of cars - Mixed Manufacturing Buildings with No Dominate Occupancy - All Battery Manufacturing (including lithium-ion) with and without plastic - Plating/etching/Anodizing with plastic tanks	HC-3	- 7-73, Dust Collectors and Collection Systems - 7-64, Aluminum Industry - 7-76, Prevention and Mitigation of Combustible Dust Explosions and Fire - 7-93, Aircraft Hangers, Aircraft Manufacturing and Assembly Facilities, and Protection of Aircraft Interiors During Assembly - 7-97, Metal Cleaning - 7-98, Hydraulic Fluids - 7-104, Metal Treatment Process - 7-108, Silane

10. kép: FM 3-26 („Fire Protection for Nonstorage Occupancies”) C-2. táblázat. *Forrás: FM Global*

4.5 SprinkCAD szoftveres tervezés

A dolgozat ezen fejezetében a sprinkler rendszer SprinkCAD szoftverrel készült modell elkészítését mutatom be. A részletes ismertetés során bemutatom a felépített csőhálózat szerkezetét, ismertetem a választott csatlakozási stratégiákat, valamint elemzem a hidraulikai számítások eredményeit. Az elemzés célja, hogy bemutassa a tervezett rendszer működési sajátosságait és megfelelőségét a vonatkozó tűzvédelmi követelményekkel szemben.

4.5.1 A SprinkCAD kiinduló adatai, csővezetékek falvastagága csatlakozási stratégiák és egyéb információk

A SprinkCAD program alkalmazásának első lépéseként el kell végezni az általános és az adott létesítményhez illesztett beállítások meghatározását. A tervezés metrikus mértékrendszerben történik, figyelembe véve az FM Global előírásait. Fontos megjegyezni, hogy a magyar nemzeti szabványok (pl. MSZ EN 12845) és az FM Global követelményrendszere között jelentős eltérések tapasztalhatók, különösen a biztonsági szintek és a tervezési metodikák tekintetében. Kettős megfelelés esetén eseti mérlegelés szükséges, a szigorúbb előírás alkalmazása kizárólag konszenzusos egyeztetés után indokolt. A dolgozatomban én mindenhol a szigorúbb előírást vettem figyelembe.

A csővezetékek falvastagságára vonatkozó követelmények markáns különbségeket mutatnak a különböző szabványrendszerek között. Magyarországon az ISO 65 és ISO 4200 szabványok által előírt minimális falvastagságok irányadók, míg az FM Global saját, belső szabályrendszert alkalmaz, melyet az FM 2-0 („Installation Guidelines for Automatic Sprinklers”) dokumentum 2.4.2.2.1 táblázata rögzít. Ez nemcsak méretspecifikus adatokat tartalmaz, hanem környezeti feltételeket is meghatároz. Fontos megjegyezni, hogy az FM-előírások jellemzően szigorúbbak, azonban egyes átmérő-tartományokban az ISO szabvány ír elő nagyobb falvastagságot. Emiatt az egyes csőméretek nem konvertálhatók automatikusan a másik szabályrendszer szerint. Az esetenkénti megfeleltetés műszaki és szabályozási validálást igényel. Ez különösen FM-minősítéshez kötött létesítményeknél jelentős kockázatot hordoz mind a kivitelezés, mind a megfelelés szempontjából.

A csővezetékek csatlakozási technológiájának kiválasztása nem kizárólag műszaki, hanem gazdaságossági és kivitelezési aspektusból is értékelendő. A hegesztett kötések alkalmazása olyan esetekben célszerű, ahol kis mennyiségű, de nagy átmérőjű csővezetékek precíz kötéskialakítása és előregyártása megvalósítható. Ezzel szemben a hornyolt technológia előnye a gyors és hatékony szerelhetőség, amely elsősorban gerinc- és ágvezetékek esetén alkalmazandó. A menetes kötések elsősorban szűk helyeken – például álmennyezeti zónákban – nyújtanak megfelelő megoldást.

A csatlakozási stratégia kiválasztásakor a kivitelezési idő optimalizálása és a rendszer tartóssága közötti egyensúly megteremtése volt a cél. A döntés során minden esetben összevetésre került a különböző kötéstípusok hosszú távú karbantartási igénye és a kivitelezéshez szükséges technológiai háttér.

A SprinkCAD felületen ezt követően megtörtént a védőfelületek kijelölése. A jelen projektben öt kedvezőtlen (kritikus) védőfelületet jelöltem ki a legkedvezőtlenebb hatáspont meghatározása céljából, míg egy kedvező felület a víztároló méretezési ellenőrzéséhez lett alkalmazva. A védőfelületekhez rendelt hidraulikai számítások a korábban az irodalomkutatásban részletesen elemzett Hazen–Williams-formulán alapulnak. Az egyéb oltástechnikai berendezések 950 l/perc-es vízigény értékkel kerültek figyelembe vételre.

A modellezés megkezdését megelőző utolsó lépésben a sprinklerfejek kiosztását kellett meghatározni. Ennek alapjául a tisztatéri álmennyezetek lapméretei szolgáltak (1,2 m × 2,4 m), valamint az adott létesítményre jellemző, fokozott tűzvédelmi követelmények. Ezek figyelembevételével a legnagyobb sűrűségű elrendezés került kiválasztásra.

A csőátmérők, falvastagságok és kötéstípusok kiválasztása során a döntéshozatalt minden esetben a szabványi megfelelés, a szerelhetőség, valamint a hosszú távú üzemeltetési

szempontok együttes mérlegelése alapozta meg. A cél egy olyan műszaki rendszer kialakítása volt, amely a szabványi előírásoknak megfelelően, ugyanakkor kivitelezési és fenntartási szempontból is optimalizált. Kiemelt figyelmet kapott a költséghatékonyság, így az alkalmazott anyagválasztás és csatlakozási technológia minden esetben úgy került meghatározásra, hogy az ne csökkentse a rendszer üzembiztonságát vagy hidraulikai teljesítményét. A tervezés alapját a műszaki megfelelés és a gazdasági racionalitás egyensúlyára való törekvés képezte.

4.5.2 Tervezés menete és hidraulikai számítások eredményei és azok következtetései

A korábbi fejezetekben bemutatott előzetes feltételezések és a tisztatéri létesítmény geometriai adottságainak ismeretében a sprinkler rendszer modellezése és hidraulikai méretezése a SprinkCAD szoftver segítségével történt. A kezdeti csőméreteket saját mérnöki tapasztalataim alapján választottam meg, majd többszöri iterációval finomítottam. A SprinkCAD szoftver működési logikája – amely grafikus és adatvezérelt felületeken keresztül biztosítja a rendszer modellezését – különösen alkalmassá teszi a valósághű hidraulikai viszonyok vizsgálatára.

A hidraulikai egyensúly és a rendszer optimalizálása érdekében az iterációs folyamat alkalmazása elengedhetetlen. Mivel az esetleges túlméretezések közvetlenül befolyásolják az anyagköltséget és a kivitelezhetőséget, elsődleges célom volt a lehető legkisebb, még működésbiztos méretek alkalmazása.

A jelen projekt során új rendszer létesítésére nem került sor, a meglévő DN250-es körvezeték, valamint a hozzá tartozó szivattyú és tartály továbbhasználatra volt a cél. A szivattyú nyomás–térfogatóram jelleggörbéjéből öt pontot vettem le, melyek alapján a szoftver interpolációval számolt. A tervezés során +1 bar tartaléknyomás biztosítása volt a cél, ez a plusz nyomás nem jelenik meg szó szerint egyik szabványban sem, de minden sprinkler tervezés során alkalmazandó rendszer megbízhatósága és a nyomásvesztések elkerülése érdekében.

A csőhálózat modelljének létrehozásához szükség volt a teljes hálózat leképezésére, amely magában foglalta a földalatti vezetékeket és azok szerelvényeit is. A meglévő rendszer földalatti része egy DN250-es átmérőjű körvezeték, amelyből 130 méteres hosszúságú szakasz került beszámításra a modellbe. Ez a szakasz nyolc darab könyökidomot és egy darab T-idomot tartalmazott. Mindezen elemek hidraulikai ellenállása beépítésre került a számításba. Az álmennyezet kiosztása a projekt által meghatározott $1,2 \times 2,4$ méteres raszter szerint történt, azonban a sprinklerfejek elhelyezése során figyelembe kellett venni az esztétikai szempontokat, valamint a lapok kiosztásához való igazodást is. További korlátozó tényezőt jelentett, hogy az egyes helyiségek funkcionális kialakítása eltérő, így a kisebb helyiségekben

sűrűbb elhelyezés vált szükségessé. A szórófejekre előírt minimális kifolyási nyomás 2,8 bar volt, ezt minden esetben figyelembe kellett venni. Végül a rendszer teljes területére a $2,4 \times 2,4$ méteres kiosztás bizonyult a legalkalmasabbnak. Ezzel kisebb egy fej által védhető terület jön ki, mint a megengedhető, de ez az FM Global-lal történt korábbi egyeztetések tapasztalatai alapján, ez az ilyen speciális környezetben nem jelent komoly kockázat növekedést.

A tervezés során választott szórófej a Tyco Illusion (TY5521) típusú rejtett kivitelű, függő (pendent) sprinkler 11,2-es K-tényezőjű (K160), nagy nyílású szórófej, amely gyors reagálása és $71\text{ }^{\circ}\text{C}$ a kioldási hőmérsékletű. Legfeljebb 12,1 bar üzemi nyomás mellett alkalmazható. Működéskor a fedőlap a tűz hatására leválik és a sprinkler ezt követően aktiválódik. Esztétikailag nagyon igényes kialakítású fej. Nem ez volt az elsődlegesen kiválasztott fej, de ezt a szakdolgozatom későbbi részében bővebben kifejtem. A választott szórófej képe és adatai a gyártói adatlapon megtalálhatók. Az esztétikus kialakítás bemutatására a 12. kép szolgál.



12. kép Választott Tyco Illusion szórófej. *Forrás: Johnson Controls*

A teljes rendszerben 866 darab sprinklerfej került betervezésre. Ezután a csővezetékekkel kezdtem foglalkozni. A meglévő sprinkler-alközpontban az osztó DN250-es méretű, egy darab DN150-es ledugózott csomaggal. Ez alapján DN150-es riasztószelepet választottam. A rendszer mérete miatt már első körben is látszott, hogy a teljes rendszert DN150-es gerincvezetékekkel kiépíteni felesleges, ezért a riasztószelep után a gerincvezeték méretét DN100-asra csökkentettem. A helyiség szélessége miatt két darab puffergerincet terveztem be, ezek nem kapnak közvetlen megtáplálást a riasztószeleptől. Az ágvezetékek tekintetében DN50-es vezeték mellett döntöttem elsőre. Az álmennyezeti fejek bekötését fix bekötéssel terveztem kialakítani a magas nyomásigényre való tekintettel. Ez szerelési szempontból nem a leggyorsabb megoldás. Ugyanakkor költségszinten körülbelül feleannyi ráfordítást igényel,

mint a flexibilis csővezetékkel történő kialakítás. Ezek a fix bekötések DN32-es méretűek első körben.

Ezen vezetékek modellezése után a védőfelületek kijelölése következett. A hidraulikailag legkedvezőtlenebb védőfelület a sprinkler rendszer azon része, ahol a szükséges nyomásigény a legnagyobb az előírt oltási intenzitás biztosításához. Ennek a pontnak a meghatározása a hálózat méretezésének kritikus lépése, mivel ez szabja meg a rendszer legnagyobb teljesítményigényét. Kedvezőtlen védőfelületből öt darabot jelöltem ki, a lehető legkedvezőtlenebb megtalálása érdekében. A hidraulikailag legkedvezőbb védőfelület a sprinkler rendszer azon pontja, ahol adott vezérlőszelepnél mért nyomás mellett a legnagyobb vízhozam érhető el. Ez terület jellemzően a legközelebb eső zónákra esik, és az ellenőrző számítások során referenciapontként is szolgálhat a rendszer hatékonyságának értékeléséhez. Kedvező védőfelületből elegendő volt egy darab kijelölése ahhoz, hogy a meglévő tartály méretét ellenőrizni lehessen.

Miután ezek definiálása is megtörtént, lefuttattam az első hidraulikai számításokat. A kedvezőtlen védőfelületek eredményéről a 3. táblázatot készítettem.

3. táblázat: A legkedvezőtlenebb védőfelület megtalálását segítő táblázat					
	Kedvezőtlen védőfelület 1	Kedvezőtlen védőfelület 2	Kedvezőtlen védőfelület 3	Kedvezőtlen védőfelület 4	Kedvezőtlen védőfelület 5
Többlet nyomás szivattyúoldalon	3,826 bar	3,791 bar	3,673 bar	3,879 bar	3,756 bar

Ezek alapján megállapítottam, hogy a legkedvezőtlenebb védőfelület a 3. számú lett, ezután minden vizsgált esetben ezt a védőfelületet vettem figyelembe. A 13. kép a SprinkCAD által kiadott rövid hidraulikai összesítő látszik.

Calculation results for Design Area Kedvezőtlen 3			
This system as shown on		company print no	dated 2025.04.16.
for Szakdolgozat PR		at	
contract no is designed to discharge at a rate of 0 L/min/m ² (L/min/m ²) of floor area over a maximum area of 111,48 m ² when supplied with water at a rate of 3220,81 l/m ² 6,526 bar at the base of the riser.			
Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification:		System Type: Wet	
Maximum storage height:		Maximum velocity: 5,87 m/s	
Storage arrangement:			
Flow from In-Rack sprinklers:		0 l/min	Pressure Required at Source: 6,526 bar
Flow from Overhead sprinklers:		3220,81 l/min	Pressure Available at Source: 10,199 bar
Flow from Inside Hoses:		0 l/min	Surplus Pressure at Source: 3,673 bar
Flow from Outside Hoses:		0 l/min	
Other fixed flows:		0 l/min	
Total flow in system piping:		3220,81 l/min	
Additional flow at/beyond source:		950 l/min	
Total of all flows:		4170,81 l/min	

13. kép 3. számú kedvezőtlen védőfelület DN50-es ágvezetékkel.

A szivattyúval elérhető 3,673 bar plusz nyomás jóval meghaladja az elfogadható 1 bar tartaléknyomást, ezért a következő lépésben az ágvezetékek méretét DN40-esre változtattam, a fix lekötések mérete DN32 maradt. A 14. képen az ehhez kapcsolódó hidraulikai adatok láthatók.

Calculation results for Design Area Kedvezőtlen 3 -			
This system as shown on -		company print no	dated 2025.04.16.
for Szakdolgozat PR		at	
contract no is designed to discharge at a rate of 0 L/min/ndjpm/ft² (L/min/m²) of floor area over a maximum area of 111,48 m² when supplied with water at a rate of 3230,89 l/m² at 8,035 bar at the base of the riser. Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification:		System Type: Wet	
Maximum storage height:		Maximum velocity: 6,26 m/s	
Storage arrangement:			
Flow from In-Rack sprinklers:	0 l/min	Pressure Required at Source: 8,035 bar	
Flow from Overhead sprinklers:	3230,89 l/min	Pressure Available at Source: 10,197 bar	
Flow from Inside Hoses:	0 l/min	Surplus Pressure at Source: 2,162 bar	
Flow from Outside Hoses:	0 l/min		
Other fixed flows:	0 l/min		
Total flow in system piping:	3230,89 l/min		
Additional flow at/beyond source:	950 l/min		
Total of all flows:	4180,89 l/min		

14. kép 3. számú kedvezőtlen védőfelület DN40-es ágvezetékekkel.

Az így kapott eredmények optimálisabb képet mutattak, de a 2,162 bar tartaléknyomás még mindig túl magasnak bizonyult, ezért az ágvezetékek méretét DN32-re csökkentettem. A 15. képen az így kapott adatok láthatók.

Calculation results for Design Area Kedvezőtlen 3 -			
This system as shown on -		company print no	dated 2025.04.16.
for Szakdolgozat PR		at	
contract no is designed to discharge at a rate of 0 L/min/ndjpm/ft² (L/min/m²) of floor area over a maximum area of 111,48 m² when supplied with water at a rate of 3245,39 l/m² at 9,972 bar at the base of the riser. Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification:		System Type: Wet	
Maximum storage height:		Maximum velocity: 8,13 m/s	
Storage arrangement:			
Flow from In-Rack sprinklers:	0 l/min	Pressure Required at Source: 9,972 bar	
Flow from Overhead sprinklers:	3245,39 l/min	Pressure Available at Source: 10,193 bar	
Flow from Inside Hoses:	0 l/min	Surplus Pressure at Source: 0,221 bar	
Flow from Outside Hoses:	0 l/min		
Other fixed flows:	0 l/min		
Total flow in system piping:	3245,39 l/min		
Additional flow at/beyond source:	950 l/min		
Total of all flows:	4195,39 l/min		

15. kép 3. számú kedvezőtlen védőfelület DN32-es ágvezetékekkel.

Ezzel már sikerült a minimum 1 bar tartaléknyomás alatti értéket elérni. Az eredményként kapott 0,227 bar nyomás azt mutatta, hogy DN32-es ágvezetékekkel a rendszer nem lesz működőképes. Visszatértem a DN40-es ágvezetékekhez, és elkezdtem foglalkozni a

gerincvezetékkel. Itt a puffergerincek méretét, DN100-ról DN80-ra vittem le. A csökkentett gerincvezeték hidraulikai számítási eredményeit a 16. kép mutatja be.

Calculation results for Design Area Kedvezőtlen 3			
This system as shown on -		company print no	dated 2025.04.16.
for Szakdolgozat PR		at	
contract no is designed to discharge at a rate of 0 L/min/ngpm/ft ² (L/min/m ²) of floor area over a maximum area of 111,48 m ² when supplied with water at a rate of 3233,41 l/m ² at 8,385 bar at the base of the riser. Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification:		System Type: Wet	
Maximum storage height:		Maximum velocity: 6,35 m/s	
Storage arrangement:			
Flow from In-Rack sprinklers:	0 l/min	Pressure Required at Source: 8,385 bar	
Flow from Overhead sprinklers:	3233,41 l/min	Pressure Available at Source: 10,196 bar	
Flow from Inside Hoses:	0 l/min	Surplus Pressure at Source: 1,811 bar	
Flow from Outside Hoses:	0 l/min		
Other fixed flows:	0 l/min		
Total flow in system piping:	3233,41 l/min		
Additional flow at/beyond source:	950 l/min		
Total of all flows:	4183,41 l/min		

16. kép 3. számú kedvezőtlen védőfelület DN80-as puffergerincc.

A korábbi 2,162 bar nyomástartálékról sikerült lemenni 1,811 bar-ra. Mivel az épületnek nem ez a hidraulikai szempontból legkedvezőtlenebb területe, ez az eredmény már közel áll a tervezési határértékhez, így elfogadhatónak tekinthető. Ugyanakkor mivel jelenleg a műszaki szempontból lehető legjobban optimalizált rendszerre törekszem, ezért még a fix bekötések méretének csökkentését is elvégeztem DN32-ről DN25-re. A 17. kép az utolsó hidraulikai számítás eredményét illusztrálja.

Calculation results for Design Area Kedvezőtlen 3			
This system as shown on -		company print no	dated 2025.04.16.
for Szakdolgozat PR		at	
contract no is designed to discharge at a rate of 0 L/min/ngpm/ft ² (L/min/m ²) of floor area over a maximum area of 111,48 m ² when supplied with water at a rate of 3229,87 l/m ² at 9,119 bar at the base of the riser. Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification:		System Type: Wet	
Maximum storage height:		Maximum velocity: 7,78 m/s	
Storage arrangement:			
Flow from In-Rack sprinklers:	0 l/min	Pressure Required at Source: 9,119 bar	
Flow from Overhead sprinklers:	3229,87 l/min	Pressure Available at Source: 10,197 bar	
Flow from Inside Hoses:	0 l/min	Surplus Pressure at Source: 1,077 bar	
Flow from Outside Hoses:	0 l/min		
Other fixed flows:	0 l/min		
Total flow in system piping:	3229,87 l/min		
Additional flow at/beyond source:	950 l/min		
Total of all flows:	4179,87 l/min		

17. kép 3. számú kedvezőtlen védőfelület DN25-ös lecsatlakozás.

Az eredményként kapott 1,077 bar tartaléknyomást kaptam. Ezzel kijelenthető, hogy a tervezett rendszer a felállítót szempontrendszer szerint a lehető legoptimálisabb.

A tartály méretének ellenőrzése maradt az utolsó feladat. A ténylegesen szükséges vízmennyiség meghatározásához a következő számítást lehet alkalmazni: $4249 \text{ l/perc} \cdot 90 \text{ perc} \cdot 1,4 = 535374 \text{ l} \approx 536 \text{ m}^3$.

A biztonsági szorzó értékét saját tervezési tapasztalataim alapján 1,4-re állítottam be, figyelembe véve a hasonló létesítményeknél alkalmazott tartalékigényt és a tisztatéri környezet fokozott megbízhatósági elvárásait. Ez az érték tapasztalatom szerint megfelelő biztonsági ráhagyást biztosít a rendszer stabil működéséhez és a valós üzemeltetési körülményekhez. Az így kiszámolt adat már tartalmazza a tűzcsaphálózat vízigényének 950 l/perc-es értékét is. A 600 m³-es tartály mérete nem csupán kielégíti, de tartalékot is biztosít a tervezett vízhozamra, így kielégíti a normatív biztonsági elvárásokat és az esetleges szivattyúindítási késedelmekből eredő többletigényt is.

Calculation results for Design Area Kedvező -			
This system as shown on _____		company print no _____	dated 2025.04.18.
for Szakdolgozat PR _____		at _____	
contract no _____ is designed to discharge at a rate of 0 l/min/m ² (l/min/m ²) of floor area over a maximum area of 111,48 m ² when supplied with water at a rate of 3277,14 l/min at 7,047 bar at the base of the riser. Hose stream allowance of 0 l/min is included in the above.			
Occupancy classification: HC-3		Number of heads flowing: 12	
Commodity classification: _____		System Type: Wet	
Maximum storage height: _____		Maximum velocity: 9 m/s	
Storage arrangement: _____			
Flow from In-Rack sprinklers:	0 l/min	Pressure Required at Source: 7,047 bar	
Flow from Overhead sprinklers:	3277,14 l/min	Pressure Available at Source: 10,188 bar	
Flow from Inside Hoses:	0 l/min	Surplus Pressure at Source: 3,139 bar	
Flow from Outside Hoses:	0 l/min		
Other fixed flows:	0 l/min		
Total flow in system piping:	3277,14 l/min		
Additional flow at/beyond source:	950 l/min		
Total of all flows:	4227,14 l/min		

18. kép Kedvező védőfelület.

Miután a csőméretek meghatározása és a szivattyú ellenőrzése befejeződött, a kapott eredmények mérnöki elemzése következett.

A végleges rendszer kialakítása tehát a következő fő paramétereken alapult:

- DN150 riasztószelep,
- DN100 betápra kötött gerincvezeték,
- DN80 puffergercvezeték,
- DN40 ágvezetékek,
- DN25 fix sprinklerbekötések.

Ez a konfiguráció biztosítja a szükséges működési biztonságot és tartaléknyomást, miközben anyagköltség szempontjából is a legkedvezőbb változatot nyújtja.

Az alkalmazott beépített oltórendszer tervezési megoldásai – különösen a sprinkler technológia szabályozott alkalmazása – a vizsgált tisztatéri környezetben technológiai, higiéniai és biztonságtechnikai szempontból is optimális kompromisszumnak tekinthetők. A választott rendszer megfelel az MSZ EN 12845, a vonatkozó FM Global előírásoknak és egyben összhangban áll a tisztatérre vonatkozó ISO 14644-1 szerinti követelményekkel is. A zárt, ritkán ellenőrzött vagy személyzet nélküli zónákban a gyors reakcióidő és az automatizált működés biztosítja a minimális emberi beavatkozás melletti működőképességet. A hidraulikai méretezés, a zónahatárok menti védelem és a rendszeres karbantartási lehetőségek figyelembevételével kialakított rendszer olyan megoldást eredményez, amely minimalizálja a kontaminációs kockázatot, miközben teljesíti a tűzvédelmi célkitűzéseket és nem veszélyezteti a termelési folyamat folytonosságát.

4.5.3 A kész modell elemzése és a SprinkCAD által kapott további információk

Ebben az alfejezetben a SprinkCAD segítségével elkészített modell vizsgálatát mutatom be. Az elemzés során bemutatásra kerülnek a rendszer főbb jellemzői, valamint a szoftver által generált kiegészítő adatok, amelyek támogatják a tervezési döntéseket. Az elkészült teljes rendszer terveit a mellékletekhez csatoltam. Az A.1-es melléklet a kiinduló tisztatér alaprajzát mutatja be, amelyen a légkezelők pozíciói is feltüntetésre kerültek, ami segített a tervezés során az alapvető ütközések elkerülésében. Az A.2-es mellékleten már a kész sprinkler terv felülnézete látható, amelyen kivehető a pontos fejkiosztás és az álmennyezeti lapokhoz való illeszkedés. A felülnézet nem árul el sok rejtett részletet, amit viszont egy axonometrikus nézet sokkal jobban megmutat, ezen a terven például nem látszik, hogy az épület délnyugati sarkában az álmennyezeti magasság nem 3,5 méter, hanem 6 méter. Az ilyen apró részletek megmutatásában segít A.3-as melléklet. A kivitelezés során a szerelők és a projektmenedzserek nagyon szeretik ezeket az axonometrikus képeket. Az axonometrikus nézet a 2D-s nézettel szemben lényegesen részletesebb információt nyújt a szereléshez. A terv egy kisebb részletét is szeretném itt bemutatni. A szórófejek bekötéséről a 19. képet vágtam ki a modellből, jól megmutatja az ágvezetékéből történő kiállási stratégiát és az ágvezeték és a szórófejek egymáshoz viszonyított helyzetét.

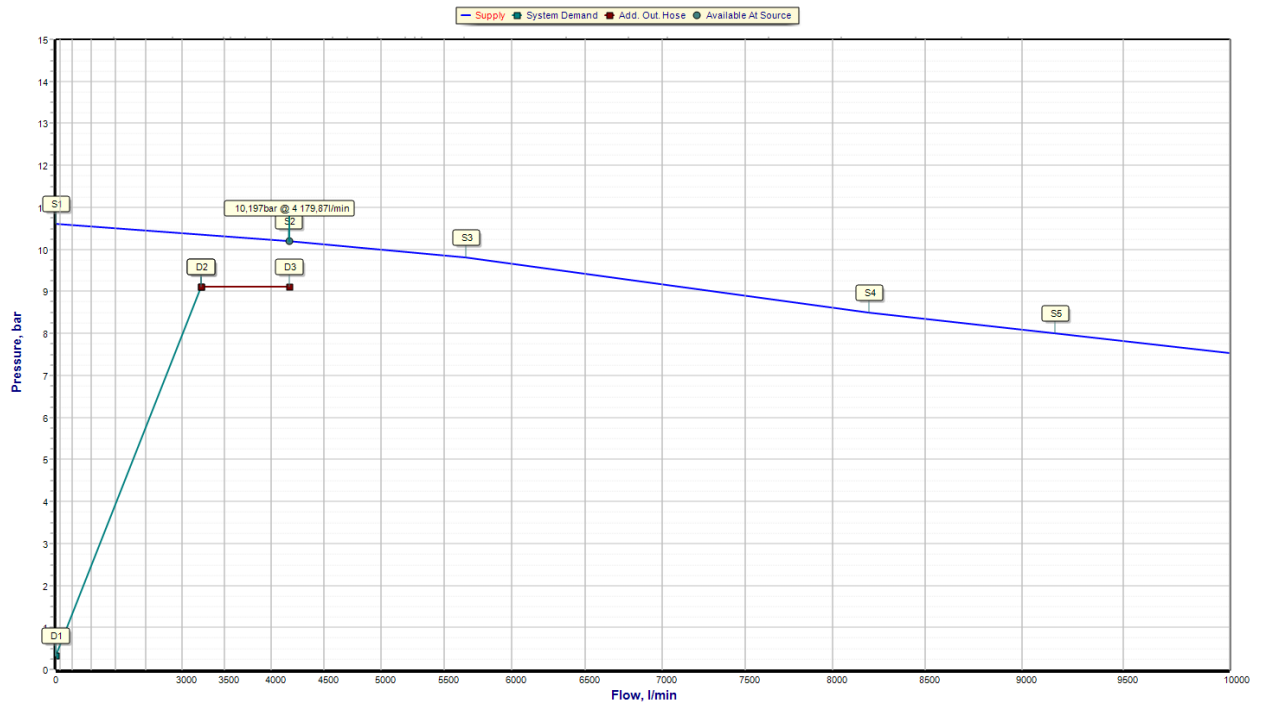


19. kép 3D-s kép a tervről.

A SprinkCAD-ben a terv 3 dimenzióban történő megrajzolásán kívül van lehetőség úgynevezett „modell generálásra”. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy a vonalakból megrajzolt tervből képes a beállított csőmérettel arányos modell készítésére, erről az A.4-es mellékletet készítettem. Ez a modell a későbbiekben felhasználható az épület BIM modelljének elkészítéséhez, például az épületgépészeti ütköztetési vizsgálatokhoz és üzemeltetési digitális ikermodell kialakításához.

A SprinkCAD-ben való tervezés előnyei közé lehet sorolni, hogy az elkészített védőfelülethez tartozó hidraulikai számításból részletes diagramokat és ábrákat lehet készíteni. Ezek elemzését is fontosnak tartom, mivel így szemléletesen bemutatatható, hogy milyen adatok nyerhetők ki modellből.

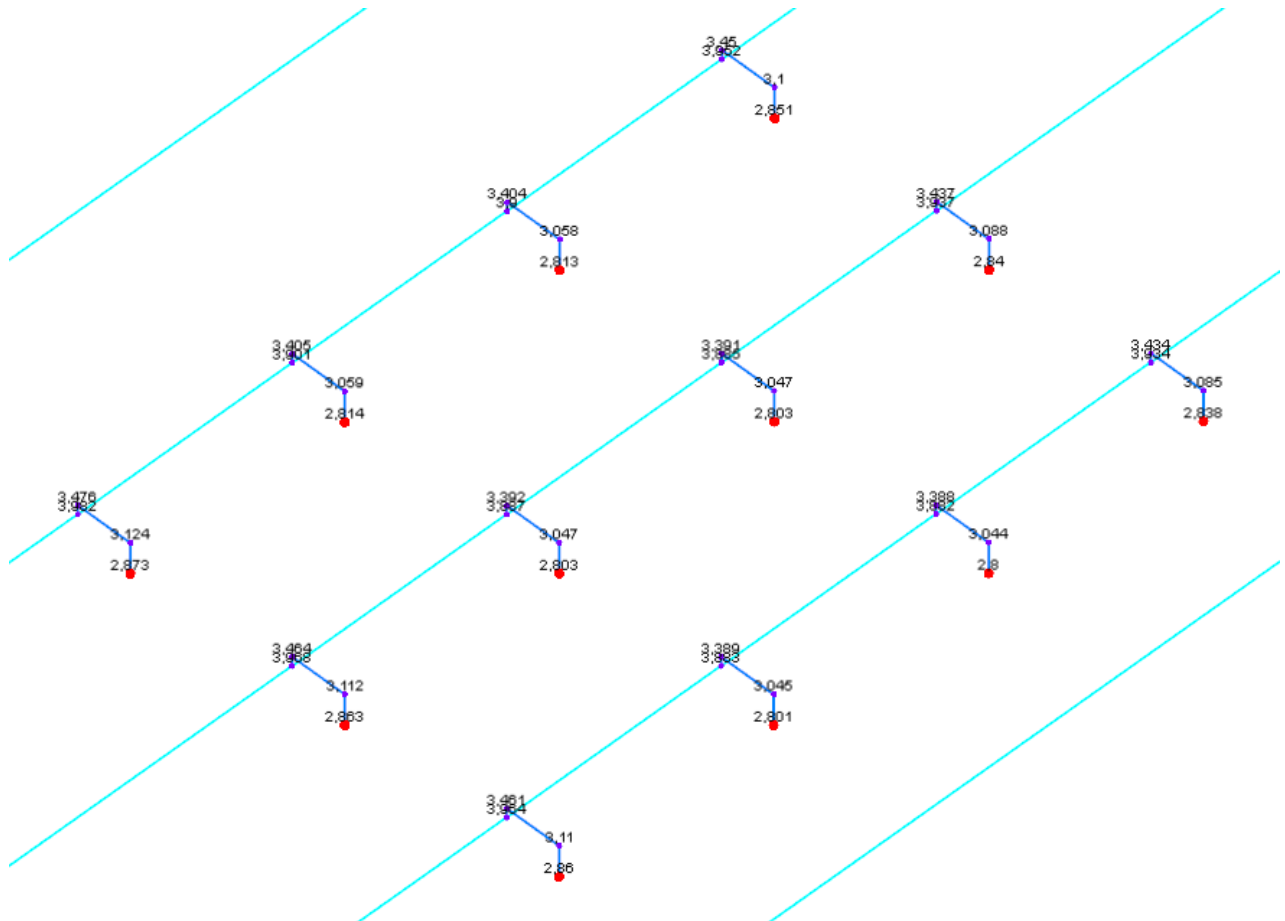
A 20. kép azt illusztrálja, ahogyan a SprinkCAD a rendszer jelleggörbét az általunk kijelölt szivattyú jelleggörbéhez viszonyítva jeleníti meg.



20. kép SprinkCAD által készített jelleggörbe összevetés.

Ez az összehasonlítás grafikusan is segít a kapott eredmény értelmezésében. Az összes jelentős diagram és adat B.1-es mellékletben megtalálható a teljes hidraulikai számításban.

A CALC felület előzetes ellenőrzésre alkalmas, de engedélyezési célú végleges számításokra nem önállóan alkalmazható. Ez nem szerencsés, mert a kapott adatokat csak a kijelölt védőfelületen lehet ellenőrizni. Eerre példának a 21. képet készítettem, amellyel ellenőrizhető, hogy a kiinduló adatként megadott 2,8 bar kifolyási nyomás a szórófejeknél teljesül-e. Ahogy a kép is mutatja, ez a feltétel minden szórófejen teljesül.

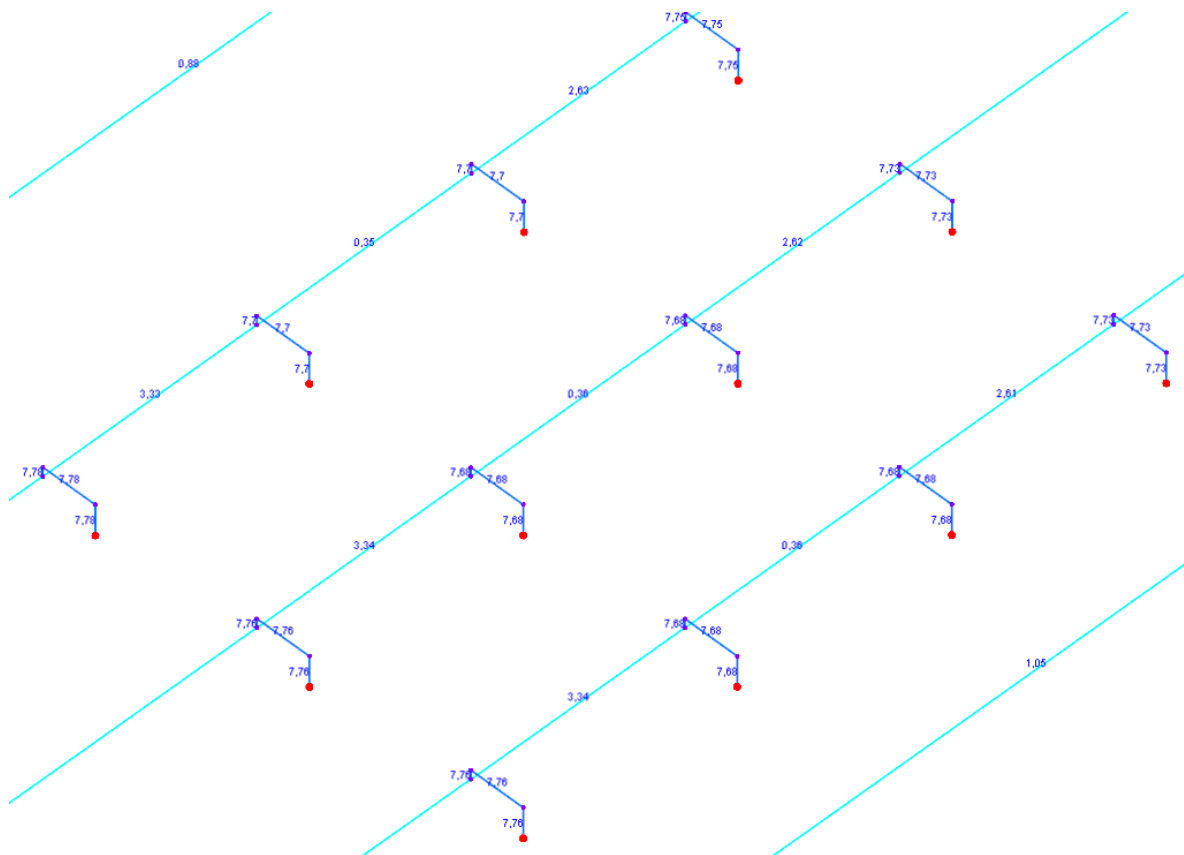


21. kép SprinkCAD CALC-ban kifolyási nyomás ellenőrzési diagram.

Ezen a felületen többek között az alábbi adatok ellenőrizhetők:

- a méretek,
- az anyag,
- a rendszerben fellépő nyomásváltozás,
- a szórófejek K-faktora,
- további paraméterek.

Az utolsó, amit fontosnak tartok kiemelni, az a vízsebesség a csővezetékben. Ezekre szabványi előírás van, a 13–18. képekről mindenhol leolvasható, hogy mennyi a rendszeren végighaladó víz maximális sebessége. Ezt az adatot a CALC fülön is ellenőrizni lehet diagram formájában. A 22. kép ezt a sebességértéket grafikus formában ábrázolja.



22. kép SprinkCAD CALC-ban vízsebesség diagram.

A szabványi korlátot a 23. kép szemlélteti, amely az MSZ EN 12845 [2015] 13.2.3. pontjának kivonatát tartalmazza. A szabvány szerinti határérték 10 m/s. A korábban készített képek közül a 18. képen látható a legnagyobb sebességadat, amely 9 m/s. Ez is megerősíti, hogy a tervezett rendszer minden előírásnak megfelelő.

13.2.3 Velocity

The water velocity shall not exceed:

- 6 m/s through any valve, flow monitoring device or/and strainer;
- 10 m/s at any other point in the system.

for the stabilized flow condition for the hydraulically most favourable and unfavourable area of operation.

23. kép Az MSZ EN 12845 [2015] szabvány 13.2.3. pontja a vízsebességről.

A fent bemutatott modellezési és számítási eredmények alapján megállapítható, hogy a SprinkCAD-ben elkészített rendszer megfelel mind a geometriai, mind a hidraulikai tervezési követelményeknek. A szoftver több kiegészítő funkciót kínál. Ezek közül különösen kiemelendők: a háromdimenziós vizualizációk, a jelleggörbe-elemzés és a nyomás-, illetve

áramlási sebesség-diagramok, amelyek hatékonyan segítik a rendszer átláthatóságát, és alátámasztják a szabványos követelmények teljesülését. A vizsgálat eredményei egyértelműen alátámasztják, hogy a kialakított sprinkler hálózat a tisztatéri környezetre jellemző speciális elvárásoknak is megfelel.

4.6 Tervezés során felmerült problémák

A sprinkler rendszer tervezése során természetes módon több olyan probléma is felmerült, amelyeket a tervezési folyamat részeként kellett megoldani. Minden komplex rendszer kialakítása során előfordulhatnak műszaki, koordinációs vagy megrendelői elvárásokból eredő módosítási igények. A sikeres tervezés feltétele, hogy ezekre a kihívásokra gyorsan és megfelelő szakmai válaszokat adjunk, biztosítva ezzel a rendszer műszaki megfelelőségét és a projekt előrehaladását.

4.6.1 K160-as sprinklerfejek alkalmazásának kérdései

A tervezés során hamar egyértelművé vált, hogy a sprinkler rendszerben tisztatéri környezetbe is alkalmas, rejtett kivitelű szórófejek alkalmazása indokolt. Ennek oka nem csupán esztétikai jellegű, hanem elsősorban a tisztíthatósági és higiéniai szempontokban keresendő. A rejtett sprinklerfejek síkban záródó kialakításuk révén nem tartalmaznak kiemelkedő elemeket, így minimálisra csökkentik a porfelhalmozódás vagy a nehezen tisztítható felületek kialakulásának kockázatát. Ez különösen előnyös az ISO 8-as vagy annál szigorúbb minősítésű tisztaterekben, ahol a légtechnikai és GMP-előírások együttesen is megkövetelik a könnyen tisztán tartható, zárt felületeket.

A műszaki specifikációk vizsgálata során azonban kiderült, hogy a piacon jelenleg nem elérhető olyan sprinklerfej, amely egyidejűleg rendelkezik FM Global minősítéssel, rejtett kivitelű és K160-as kifolyási tényezőjű. A legtöbb rejtett szórófej K80–115 tartományba esik, így nem felel meg a kiválasztott hidraulikai kategóriának.

További kihívást jelent, hogy az FM Global nem rendelkezik rejtett sprinklerfejekre vonatkozó, nagyléptékű, validált tűzvizsgálati eredményekkel, különösen nem tisztatéri alkalmazásra. Az ilyen típusú fejek aktiválási mechanizmusa (burkolati lemez leválása után induló vízleadás) olyan hidraulikai és aerodinamikai kockázatokat hordoz, amelyek kedvezőtlen légtechnikai viszonyok (pl. lamináris légáramlás, zónahatárok) esetén a szórás kép torzulását, ezáltal az oltási hatékonyság csökkenését okozhatják.

A rendszertervezés során ezért a kompromisszumos megoldás abban állt, hogy a rejtett kivitelű szórófejek alkalmazását a tűzvédelmi rendszer más pontjain történő megerősítéssel lehetett elfogadtatni az FM előírásainak megfelelően. Ezáltal a tisztatéri higiéniai és esztétikai

követelmények, valamint a biztosító által meghatározott megfelelőségi szintek egyaránt teljesíthetővé váltak.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS MÉRNÖKI JAVASLATOK

A dolgozatban bemutatott szakirodalmi háttér, szabályozási környezet és az elemzett tisztatéri létesítmény tűzvédelmi kialakítása alapján megvalósítható és szakmailag indokolt megoldást jelenthet a sprinkler típusú beépített oltórendszerek alkalmazása tisztaterek esetén még ha ez jelentős tervezési kompromisszumokat is igényel. A tisztaterek technológiai érzékenysége, a légtömörség és a kontrollált légcseresparaméterek olyan tervezési és kivitelezési feltételeket támasztanak, amelyek szükségessé teszik az oltórendszer elemeinek adaptív és integrált megközelítését.

A dolgozat önálló mérnöki munkarésze során kidolgozott sprinkler rendszer tervezési javaslatai összhangban állnak az FM Global és az MSZ EN 12845 [2015] követelményeivel, ugyanakkor figyelembe veszik a tisztatéri osztályozások (pl. ISO 14644-1) által előírt környezeti feltételeket. A tapasztalatok alapján megfogalmazható, hogy a megfelelő működéshez elengedhetetlen a rendszer finomhangolása a tér speciális jellemzőihez.

A vizsgálat során szerzett tapasztalataim alapján az alábbi gyakorlati megállapítások és javaslatok fogalmazhatók meg a tisztaterekbe integrált sprinkler oltórendszerek tervezésével és alkalmazásával kapcsolatban:

- Elsőre tervezői szempontból célszerűnek tűnik, hogy a tisztatér jellegű helyiségekben kiemelt jelentősége van a megfelelő típusú sprinklerfejek kiválasztásának. A gyakorlatban tapasztaltak alapján a rejtett, zárt burkolatú, alacsony nyomásvesztésű sprinklerfejek alkalmazása kedvezőbb, mivel ezek nem zavarják a helyiség légmozgási viszonyait, nem idéznek elő jelentős örvényképződést, és jobban illeszthetők az álmennyezethez, ezáltal csökken a kontaminációs kockázat.
- A szerelési technológia terén azt tapasztaltam, hogy a csőhálózat tisztatér-kompatibilis előregyártott elemekből való kialakítása jelentősen csökkenti a beépítés közbeni részecskeszennyezés esélyét. A hagyományos helyszíni hegesztésekhez képest az előreszerelt, csavarozható technológiák alkalmazása nemcsak tisztaságtechnikai, hanem időhatékonysági szempontból is előnyösnek bizonyult.
- Az építészeti integráció kapcsán megfigyelhető volt, hogy a sprinkler rendszer elemeinek késői elhelyezése gyakran konfliktusba kerül más gépészeti rendszerekkel, különösen az álmennyezet feletti szűk terek esetében. Ennek elkerülése érdekében célszerű a tűzvédelmi rendszer elemeit már a koncepcionális építészeti és gépészeti tervezés során integrálni, ezzel biztosítva az optimális térkihasználást és hozzáférhetőséget.

- Végül az üzemeltetési tapasztalatok alapján szükségesnek tartom, hogy a beépített oltórendszerekhez külön, kifejezetten tisztaterekre szabott karbantartási és ellenőrzési protokoll készüljön. Ennek ki kell térnie a rendszer elemeinek időszakos vizsgálatára olyan módon, hogy az ne veszélyeztesse a tér légállapotának tisztaságát, és ne zavarja meg a folyamatos működést.

Összegzésként kijelenthető, hogy a beépített sprinkler oltórendszerek alkalmazása tisztaterekben nemcsak megvalósítható, hanem a jelenlegi technológiai és szabályozási környezet alapján indokolt és hosszú távon fenntartható tűzvédelmi megoldás is lehet. A dolgozatban kidolgozott javaslatok gyakorlati iránymutatást nyújthatnak hasonló rendeltetésű létesítmények beépített oltórendszerének tervezéséhez.

6. HIVATKOZÁSOK

Szakirodalom

SHU, Z.–WANG, H.–LI, X.–ZHANG, Y.–YANG, J. [2022]: *Field test of pharmaceutical cleanroom cleanliness subject to multiple disturbance factors*. In: Results in Engineering, Vol. 15, 100526.

NÉBIH (2022): *Steril gyógyszerek gyártása – Útmutató*. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal. <https://portal.nebih.gov.hu>

Rudolf, R. – Szigeti, G. – Böröcz, R. [2020]: Tisztaterek létesítése a gyógyszeriparban – technológiai és HVAC szempontok. In: *Egészségtudományi Közlemények*, 70(4), pp. 34–40.

SHU, Z. – WANG, H. – LI, X. [2022]: *Field test of pharmaceutical cleanroom cleanliness subject to multiple disturbance factors*. In: Results in Engineering, Vol. 15, 100732.

Ljungqvist, B. – Reinmüller, B. [2020]: People as a contamination source in pharmaceutical clean rooms. In: *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*, 75(2), pp. 119–127.

ZHANG, Y., YU, Q., ZHANG, Y., LI, Y., & ZHANG, J. (1999). Locating the very early smoke detector apparatus (VESDA) in vertical laminar clean rooms according to the trajectories of smoke particles. *Fire Safety Journal*, 32(3), 223–239.

LIU, H., WANG, L., ZHANG, Y., & CHEN, X. (2022). Effectiveness of smoke partitioning in clean environments. *Building Simulation*, 15(4), 567–578.

LIU, H., ZHOU, M., WANG, L., & ZHANG, Y. (2023). Numerical study of fire smoke movement in large enclosed spaces. *Journal of Fire Sciences*, 41(2), 123–138.

LU, S., & ZHANG, T. (2022). Influence of pressure differentials on smoke propagation in clean rooms. *Fire Technology*, 58(3), 789–805.

WANG, Y., LI, J., ZHANG, H., & LIU, X. (2021). Flame retardancy of ESD-safe polymer composites. *Polymer Degradation and Stability*, 190, 109641.

QUINTIERE J. G., HARKLEROAD M. F. [2002] Laboratory tests for flammability using enhanced oxygen. *Fire Safety Journal*, 37(7), 679–689.

SYSTEM SENSOR [n.d.] Clean Rooms Application Notes – Aspirating Systems. Elérhető: https://www.notifier.lu/docs/notifierfiresystems/nl/appnote/SSE-Application_Note_clean-rooms.pdf

VISION FIRE & SECURITY [n.d.] Cleanrooms Design Guide – Fire Suppression. Elérhető: https://fire-suppression.co.uk/clean_rooms.pdf

SFPE [2022] Delivering Semiconductor Manufacturing Cleanroom Fire Safety. Elérhető: https://higherlogicdownload.s3.amazonaws.com/SFPE/93e7d31c-6432-4991-b440-97a413556197/UploadedImages/FPE_Extra/Issue_82/2022_November_fpe_extra2.pdf

LI, Y., CHEN, Q. [2010] Using air curtain to control pollutant spreading for emergency management in cleanrooms. *Building and Environment*, 45(9), pp. 1972–1980.

BAE, J., KIM, H., HUR, N. [2009] A modified hold time model for total flooding fire suppression. *Fire Safety Journal*, 44(8), pp. 1043–1051.

WANG, H., MURATA, T., TANAKA, H. [2007] Performance evaluation of a water mist system in semiconductor wet benches. *Fire Safety Journal*, 42(2), pp. 127–133.

WORMALD, P. [1988] The development of the ESFR sprinkler system. *Fire Safety Journal*, 14(1), pp. 3–10.

YUN, B., KANG, D., KIM, H. [2014] An experimental study on the spray characteristics of residential sprinkler systems. *Fire Safety Journal*, 70, pp. 1–10.

DUNCAN, J., KELLEY, D., NGUYEN, T. [2012] Mechanisms of water mist and their use in practice. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(1), pp. 1–8.

MEYERFIRE. (2020) *Understanding the Hazen–Williams Formula*. In: MeyerFire Blog. Elérhető: <https://www.meyerfire.com/blog/understanding-the-hazen-williams-formula>

VIKING GROUP INC. (2019) *Calculating Friction Loss: Darcy–Weisbach Formula vs. Hazen–Williams*. Elérhető:

<https://www.vikinggroupinc.com/sites/default/files/documents/Calculating%20Friction%20Loss.pdf>

SCIENCEDIRECT. (2024) *Loss in Pipe – an Overview*. In: ScienceDirect Topics. Elérhető: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/loss-in-pipe>

BEDA, László (2011) Beépített tűzvédelmi berendezések alkalmazása az iparban. *Védelem Katasztrófavédelmi Szemle*, 2011(3), pp. 25–30.

VASS, György. (2020) A sprinkler rendszerek nemzetközi tervezési szempontjai. *Tűzvédelmi Szemle*, 2020(1), pp. 12–18.

Johnson Controls (n.d./a): *SprinkCAD* 3D. Elérhető: <https://www.sprinkcad.com/solutions/sprinkcad/>

Johnson Controls (n.d./a): *SprinkCAD* 3D. Elérhető: <https://www.sprinkcad.com/solutions/sprinkcad/>

Johnson Controls (n.d./b): *SprinkCAD for Revit®*. Elérhető: <https://www.sprinkcad.com/solutions/revit-tools/>

Johnson Controls (n.d./c): *SprinkCALC*. Elérhető:
<https://www.sprinkcad.com/solutions/sprinkcalc/>

Cleanroom Technology (2021): Fire destroys 5% of Renesas semiconductor cleanroom.
Elérhető: <https://cleanroomtechnology.com/fire-destroys-5-of-renesas-semiconductor-cleanroom-175477>

Szabványok

ISO (2015): ISO 14644-1:2015 – Classification of air cleanliness by particle concentration

MSZ EN 12845:2015. Beépített tűzoltó berendezések – Automatikus sprinklerberendezések. Tervezés, kivitelezés és karbantartás. Magyar Szabványügyi Testület.

NFPA 13. (2022) Standard for the Installation of Sprinkler Systems. Quincy, MA: National Fire Protection Association.

ISO 14644-4. (2001) Cleanrooms and associated controlled environments – Part 4: Design, construction and start-up. Geneva: International Organization for Standardization.

NFPA 75. (2020) Standard for the Fire Protection of Information Technology Equipment. Quincy, MA: National Fire Protection Association.

FM GLOBAL. (2018) FM Global Property Loss Prevention Data Sheet 8-9: Storage of Class 1, 2, 3, 4 and Plastic Commodities. Johnston, RI, USA: FM Global.

FM APPROVALS. (2022) Approval Guide – Fire Protection Equipment. Johnston, RI, USA: FM Approvals LLC.

ISO (2015a): ISO 9001:2015 Quality management systems – Requirements. International Organization for Standardization. Elérhető: <https://www.iso.org/standard/62085.html>

ISO (2015b): ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization.

ISO (2018): ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems – Requirements with guidance for use. International Organization for Standardization. Elérhető: <https://www.iso.org/standard/63787.html>

Jogszabályok

OTSZ [2041] Országos Tűzvédelmi Szabályzat a 654/2041. (XII.30.) BM-rendelettel közzétéve

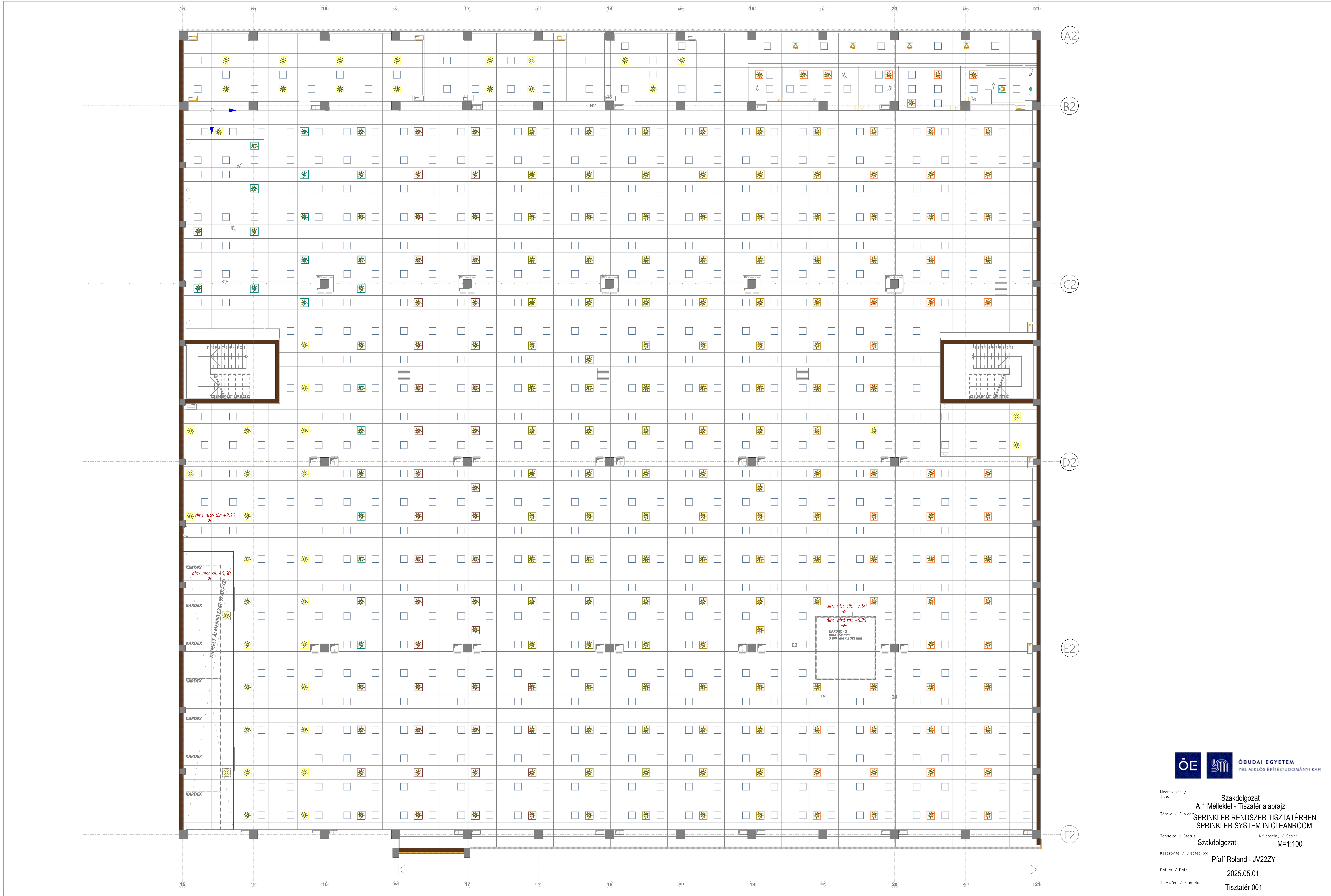
Tűzvédelmi Műszaki Irányelv – TvMI 6.1:2015.03.30. Beépített tűzoltó berendezések tervezése, kivitelezése és dokumentálása.

Mesterséges Intelligencia

OpenAI (2024): ChatGPT – mesterséges intelligencia-alapú asszisztens. Elérhető: <https://chat.openai.com/>

MELLÉKLETEK

- **A.1. Tisztátér alaprajz**
- **A.2. Sprinkler védelem – Felülnézet (alaprajz)**
- **A.3. Sprinkler védelem – Axonometrikus nézet**
- **A.4. Csőterv axonometria**
- **B.1. Végleges modell hidraulikai számításai**



ÓBUDAI EGYETEM
YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR

Megnevezés /
Title:

Szakdolgozat
A.1 Melléklet - Tisztatér alaprajz

Tárgya / Subject:

SPRINKLER RENDSZER TISZTATÉRBEN
SPRINKLER SYSTEM IN CLEANROOM

Tervfajta / Status:

Szakdolgozat

Méretarány / Scale:

M=1:100

Készítette / Created by:

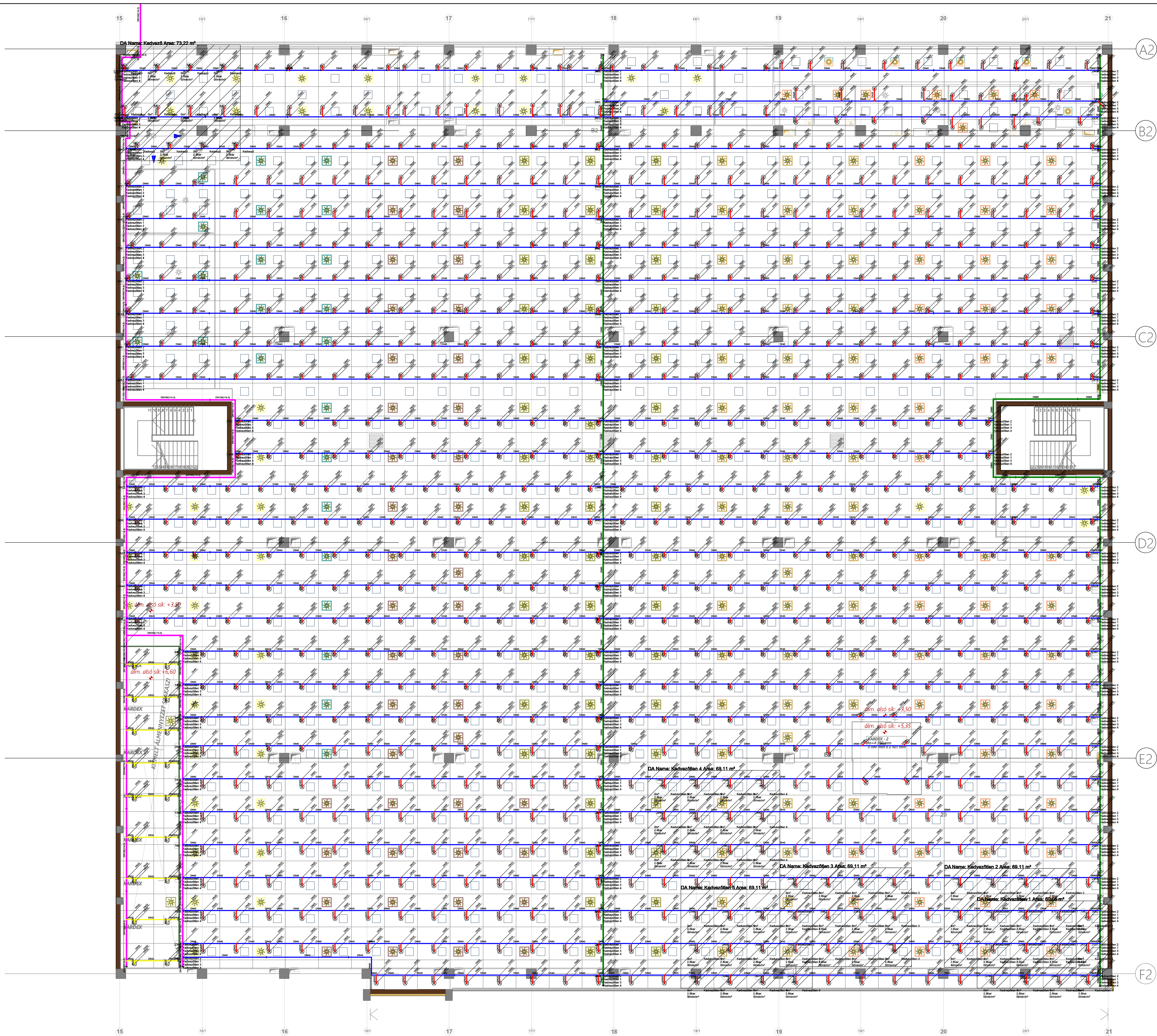
Pfaff Roland - JV22ZY

Dátum / Date:

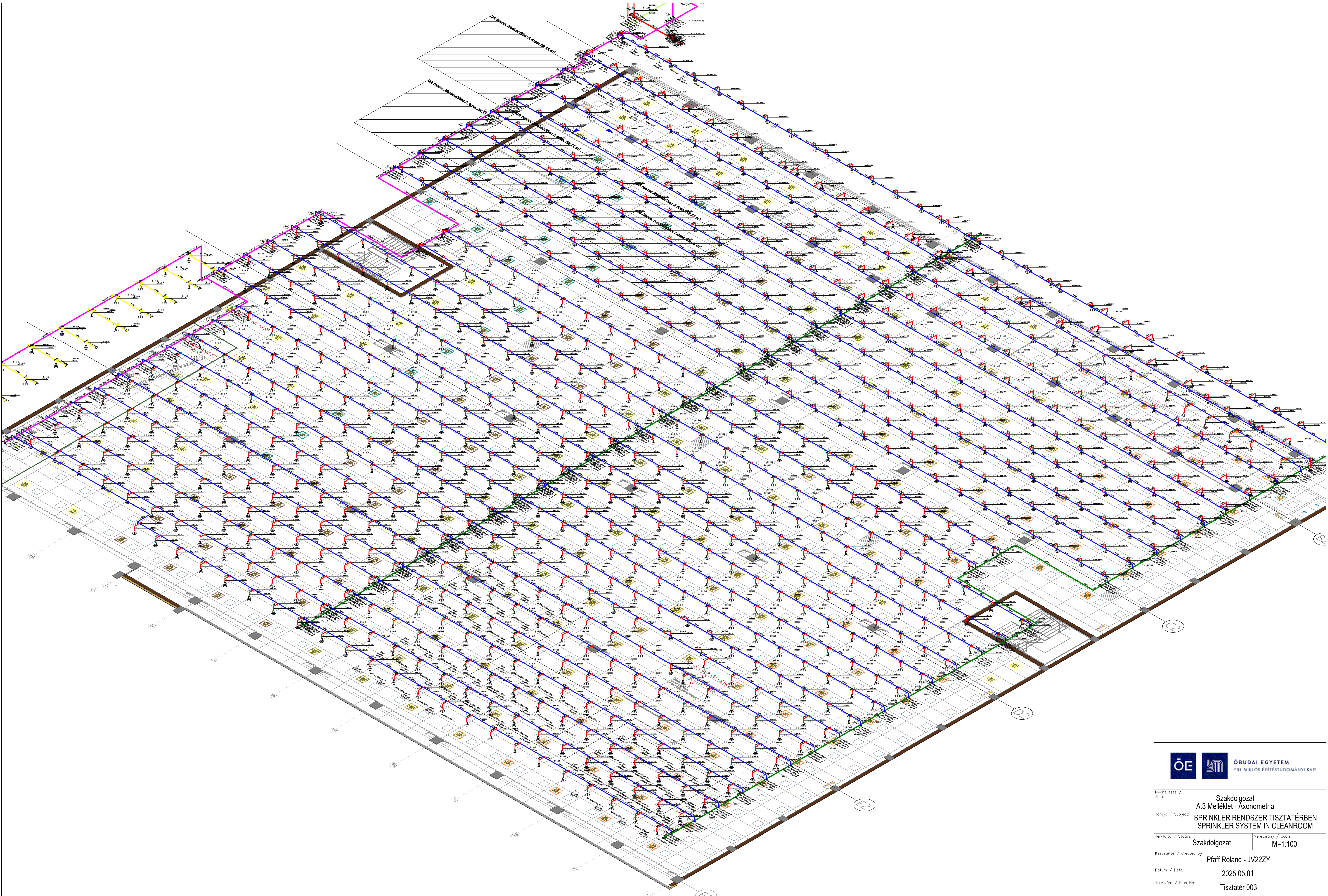
2025.05.01

Tervszám / Plan No.:

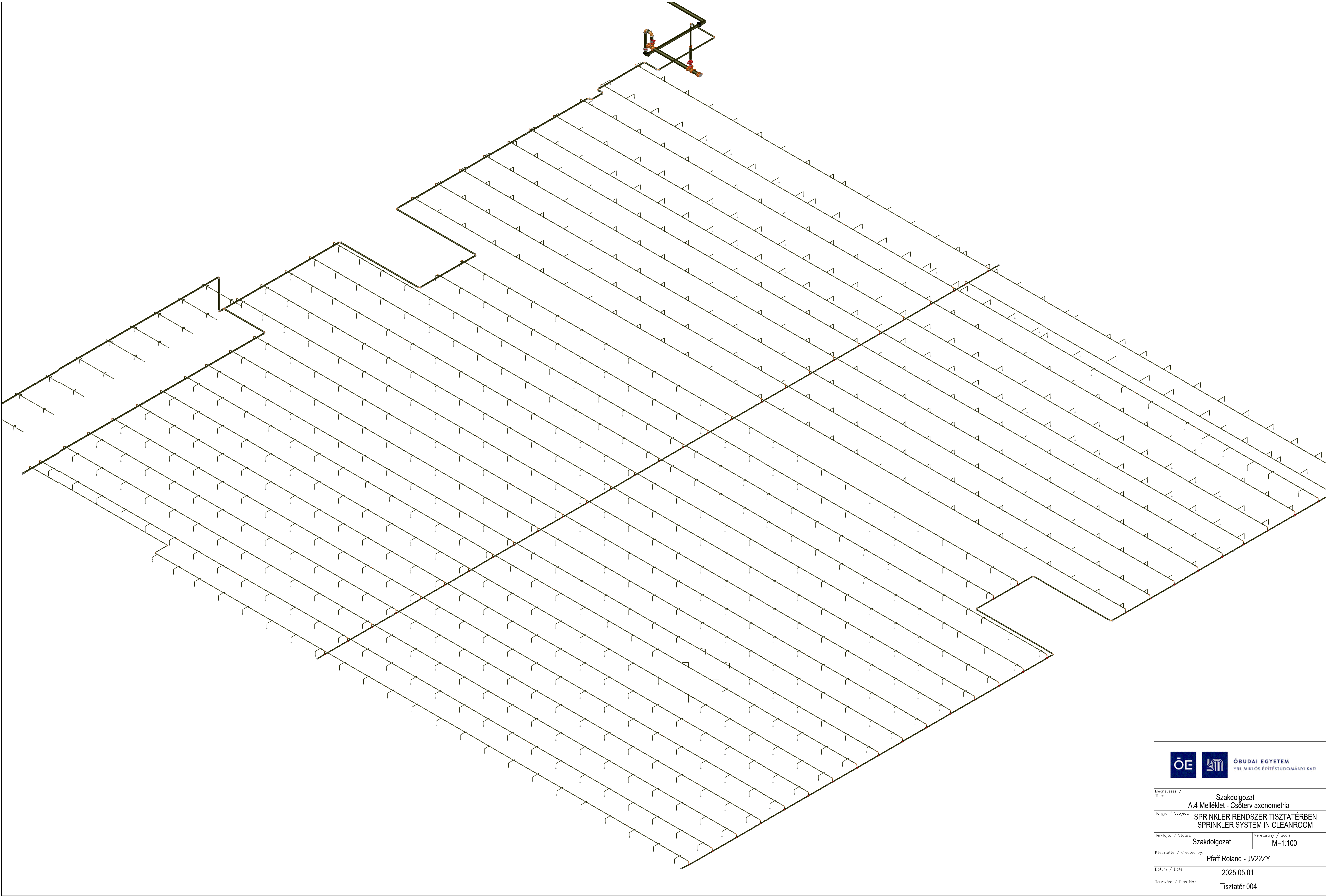
Tisztatér 001



ÖE ÓBUDAI EGYETEM YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR	
Megnevezés / Title:	Szakdolgozat A.2 Melléklet - Sprinkler védelem - Felülnézet
Tárgya / Subject:	SPRINKLER RENDSZER TISZTATÉRBEN SPRINKLER SYSTEM IN CLEANROOM
Tervező / Status:	Szakdolgozat
Méretarány / Scale:	M=1:100
Készítette / Created by:	Pfaff Roland - JV22ZY
Dátum / Date:	2025.05.01
Tervszám / Plan No.:	Tisztatér 002



Megnevezés / Title:		Szakdolgozat A.3 Melléklet - Axonometria	
Tárgya / Subject:		SPRINKLER RENDSZER TISZTATÉRBEN SPRINKLER SYSTEM IN CLEANROOM	
Tervező / Status:		Szakdolgozat	
Készítette / Created by:		Pfaff Roland - JV22ZY	
Dátum / Date:		2025.05.01	
Tervszám / Plan No.:		Tisztatér 003	



Megnevezés / Title:	Szakdolgozat A.4 Melléklet - Csőterv axonometria	
Tárgya / Subject:	SPRINKLER RENDSZER TISZTATÉRBE SPRINKLER SYSTEM IN CLEANROOM	
Tervező / Status:	Szakdolgozat	Méretarány / Scale: M=1:100
Készítette / Created by:	Pfaff Roland - JV22ZY	
Dátum / Date:	2025.05.01	
Tervszám / Plan No.:	Tisztatér 004	

HYDRAULIC CALCULATIONS for

Job Information

Project Name : Szakdolgozat_PR

Contract No. :

City:

Project Location:

Date: 2025.04.16.

Contractor Information

Name of Contractor: -

Address: -, -

City: -, -

Phone Number: -

E-mail: -

Name of Designer: PR

Authority Having Jurisdiction: -

Design

Remote Area Name	Kedvezőtlen 3
Remote Area Location	
Occupancy Classification	HC-3
Density (l/min/m ²)	28,8
Area of Application (m ²)	111,48
Coverage per Sprinkler (m ²)	9,29
Number of Calculated Sprinklers	12
In-Rack Demand (l/min)	0
Special Heads	
Hose Streams (l/min)	950
Total Water Required (incl. Hose Streams) (l/min)	4 179,87
Pressure at Source (bar)	9,119
Type of System	Wet
Volume - Entire System Volume (l)	16 186,8 l

Water Supply Information

Date

Location

Source

SUP5

Notes

Hydraulic Analysis for : Kedvezőtlen 3**Calculation Info**

Calculation Mode
 Hydraulic Model
 Fluid Name
 Fluid Weight, (N/m³)
 Fluid Dynamic Viscosity, (Pa·s)

Demand
 Hazen-Williams
 Water @ 60F (15.6C)
 N/A for Hazen-Williams calculation.
 N/A for Hazen-Williams calculation.

Water Supply Parameters

Supply 1 : SUP5

Flow (l/min)	Pressure (bar)
0	10,6
4 166	10,2
5 666	9,8
8 200	8,5
9 166	8

Hoses

Inside Hose Flow / Standpipe Demand (l/min)

Outside Hose Flow (l/min)

Additional Outside Hose Flow (l/min) 950

Other (custom defined) Hose Flow (l/min)

Total Hose Flow (l/min) 950

Sprinklers

Ovehead Sprinkler Flow (l/min) 3 229,87

InRack Sprinkler Flow (l/min) 0

Other (custom defined) Sprinkler Flow (l/min) 0

Total Sprinkler Flow (l/min) 3 229,87

Other

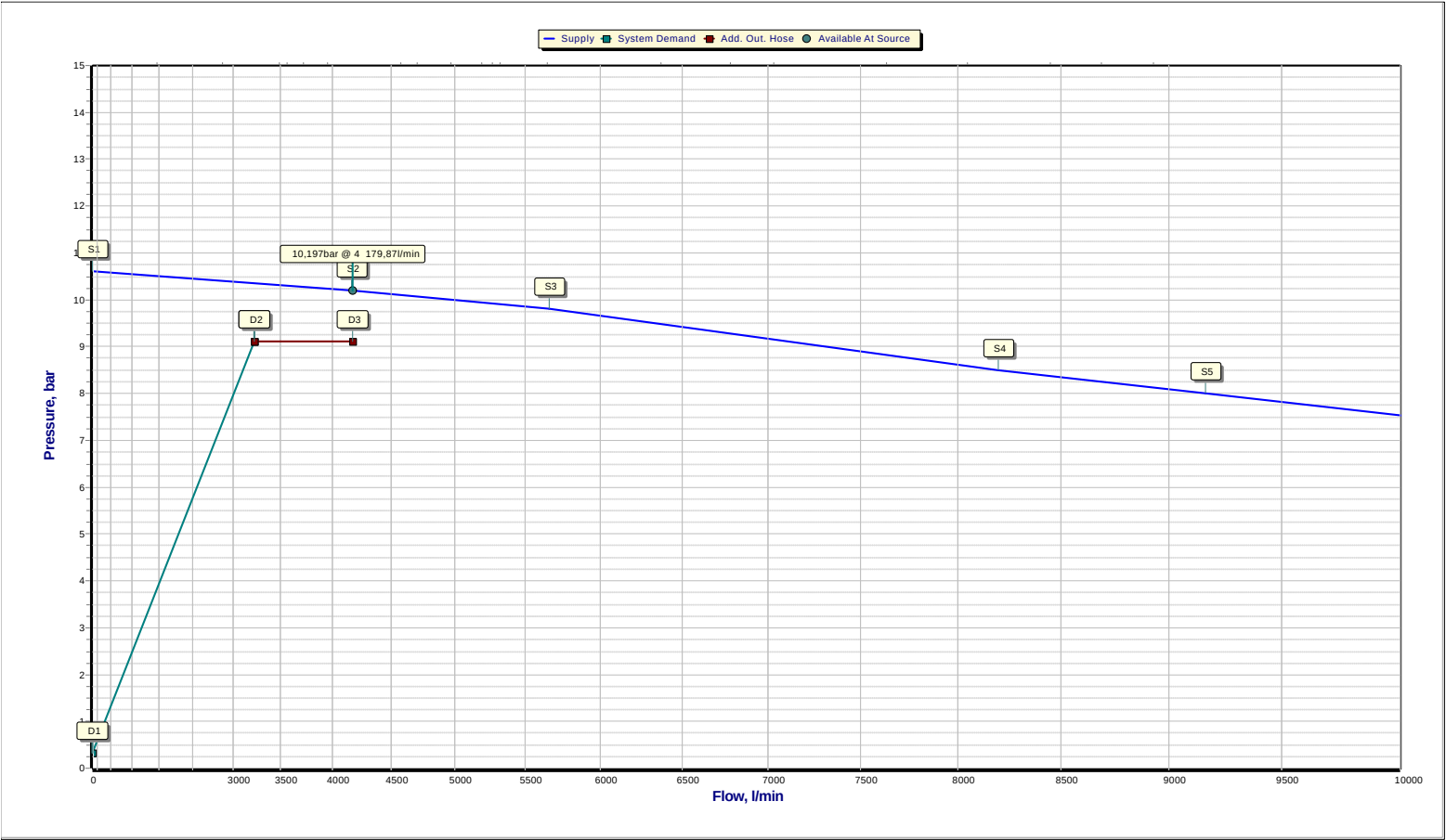
Required Margin of Safety (bar) 0

SUP5 - Required Pressure (bar) 9,119

SUP5 - Flow (l/min) 3229,87

Demand w/o System Pump(s) N/A

Hydraulic Analysis for : Kedvezőtlen 3



Graph Labels

Label	Description	Values	
		Flow (l/min)	Pressure (bar)
S1	Supply point #1 - Static	0	10,6
S2	Supply point #2	4 166	10,2
S3	Supply point #3	5 666	9,8
S4	Supply point #4	8 200	8,5
S5	Supply point #5	9 166	8
D1	Elevation Pressure	0	0,319
D2	System Demand	3 229,87	9,119
D3	System Demand + Add. Out. Hose	4 179,87	9,119

Hydraulic Analysis for : Kedvezőtlen 3

Curve Intersections & Safety Margins

Curve Name	Intersection		Safety Margin	
	Pressure (bar)	Flow (l/min)	Pressure (bar)	@ Flow (l/min)
Supply	10,316	3 460,34	1,077	4 179,87

Open Heads

Head Ref.	Head Type	Coverage	K-Factor	Required			Calculated		
				Density	Flow	Pressure	Density	Flow	Pressure
		(m2)	(lpm/bar1)	(l/min/m2)	(l/min)	(bar)	(l/min/m2)	(l/min)	(bar)
19	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29,2	271,2	2,873
20	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,9	268,39	2,814
21	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,9	268,35	2,813
22	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29,1	270,18	2,851
23	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29,1	270,71	2,863
24	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,8	267,89	2,803
25	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,8	267,85	2,803
26	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29	269,66	2,84
27	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29,1	270,6	2,86
28	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,8	267,77	2,801
29	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	28,8	267,73	2,8
30	OVERHEAD	9,29	160	28,8	267,73	2,8	29	269,53	2,838

Node Data : Kedvezőtlen 3

Node #	Elevation	Hgroup	Tot. Pres.	Discharge	K-Factor	Req. Discharge	Req. Pres.
	m		bar	l/min	lpm/bar ^{1/2}	l/min	bar
1278	-46,396	NODE	6,471				
SUP5	-49,596	SUPPLY	9,119	-3229,87			
1248	-46,396	NODE	6,508				
238	-48,955	NODE	9,024				
245	-49,088	NODE	9,033				
254	-49,296	NODE	9,053				
1073	-46,096	NODE	6,589				
270	-49,296	NODE	9,037				
296	-49,097	NODE	9,017				
305	-48,964	NODE	8,999				
2048	-46,396	NODE	6,161				
2027	-46,096	NODE	6,441				
347	-50,196	NODE	9,094				
363	-51,396	NODE	9,198				
443	-51,396	NODE	9,124				
459	-50,896	NODE	9,062				
487	-49,946	NODE	8,948				
513	-50,083	NODE	8,945				
213	-49,946	NODE	8,931				
200	-49,799	NODE	8,881				
529	-49,488	NODE	8,814				
232	-48,396	NODE	8,701				
214	-46,396	NODE	7,564				
196	-46,396	NODE	7,465				
1381	-46,096	NODE	6,501				
384	-46,396	NODE	6,995				
277	-46,396	NODE	6,935				
644	-46,396	NODE	6,886				
1527	-46,396	NODE	6,327				
810	-46,396	NODE	6,195				
726	-46,396	NODE	6,849				
258	-46,396	NODE	6,296				
651	-46,396	NODE	6,81				
695	-46,396	NODE	6,542				
919	-46,396	NODE	6,775				
2799	-46,396	NODE	6,037				
985	-46,396	NODE	6,745				
937	-46,096	NODE	6,547				
2720	-46,396	NODE	6,488				
3024	-46,396	NODE	6,175				
425	-46,396	NODE	6,717				
2111	-46,396	NODE	6,497				
2387	-46,396	NODE	6,114				

Node Data : Kedvezőtlen 3

Node #	Elevation	Hgroup	Tot. Pres.	Discharge	K-Factor	Req. Discharge	Req. Pres.
	m		bar	l/min	lpm/bar ^{1/2}	l/min	bar
556	-46,396	NODE	6,493				
2066	-46,096	NODE	6,353				
1518	-46,096	NODE	6,537				
683	-46,396	NODE	6,548				
755	-46,396	NODE	6,53				
1946	-46,096	NODE	6,483				
685	-46,396	NODE	6,551				
2526	-46,396	NODE	5,848				
1851	-46,396	NODE	6,51				
292	-46,396	NODE	6,363				
1491	-46,396	NODE	6,556				
2815	-46,396	NODE	6,452				
994	-46,396	NODE	6,524				
1133	-46,396	NODE	6,445				
806	-46,396	NODE	6,344				
901	-46,096	NODE	6,571				
281	-46,396	NODE	6,17				
942	-46,396	NODE	6,129				
1265	-46,396	NODE	6,502				
661	-46,396	NODE	6,551				
1940	-46,396	NODE	6,493				
1644	-46,396	NODE	6,311				
1681	-46,096	NODE	6,527				
1393	-46,396	NODE	6,534				
412	-46,096	NODE	6,515				
2448	-46,396	NODE	6,503				
2969	-46,396	NODE	6,224				
1722	-46,396	NODE	6,133				
2365	-46,396	NODE	6,129				
1159	-46,396	NODE	6,182				
2645	-46,396	NODE	6,102				
3131	-46,396	NODE	5,75				
1996	-46,096	NODE	6,464				
2860	-46,396	NODE	6,473				
1095	-46,096	NODE	6,383				
1302	-46,396	NODE	6,352				
1414	-46,396	NODE	6,152				
1148	-46,396	NODE	6,407				
3104	-46,396	NODE	5,905				
1559	-46,396	NODE	6,374				
2433	-46,096	NODE	6,208				
1369	-46,396	NODE	6,144				
2689	-46,096	NODE	6,073				

Node Data : Kedvezőtlen 3

Node #	Elevation	Hgroup	Tot. Pres.	Discharge	K-Factor	Req. Discharge	Req. Pres.
	m		bar	l/min	lpm/bar ^{1/2}	l/min	bar
789	-46,396	NODE	6,138				
730	-46,396	NODE	6,338				
2248	-46,096	NODE	6,305				
837	-46,396	NODE	6,303				
1683	-46,096	NODE	6,273				
1618	-46,396	NODE	6,131				
2699	-46,396	NODE	5,902				
1179	-46,396	NODE	6,27				
2206	-46,096	NODE	3,982				
2915	-46,396	NODE	6,463				
1536	-46,096	NODE	6,24				
497	-46,396	NODE	6,237				
2435	-46,396	NODE	6,203				
2136	-46,096	NODE	3,9				
1865	-46,396	NODE	6,366				
2812	-46,396	NODE	5,907				
207	-46,096	NODE	6,175				
2709	-46,096	NODE	3,901				
2238	-46,396	NODE	6,502				
2341	-46,396	NODE	6,169				
2302	-46,396	NODE	6,5				
950	-46,096	NODE	3,968				
2563	-46,096	NODE	6,139				
2564	-46,396	NODE	6,135				
3097	-46,096	NODE	3,964				
1380	-46,096	NODE	6,106				
2750	-46,396	NODE	6,072				
2361	-46,096	NODE	3,885				
628	-46,396	NODE	6,481				
2797	-46,096	NODE	6,044				
2838	-46,096	NODE	6,009				
2879	-46,396	NODE	6,002				
596	-46,096	NODE	3,887				
2903	-46,096	NODE	5,974				
2904	-46,396	NODE	5,964				
1721	-46,096	NODE	5,937				
312	-46,396	NODE	5,925				
2931	-46,096	NODE	5,545				
2711	-46,396	NODE	6,243				
2215	-46,396	NODE	6,146				
2868	-46,096	NODE	5,874				
2117	-46,096	NODE	3,952				
3008	-46,396	NODE	6,201				

Node Data : Kedvezőtlen 3

Node #	Elevation	Hgroup	Tot. Pres.	Discharge	K-Factor	Req. Discharge	Req. Pres.
	m		bar	l/min	lpm/bar ^{1/2}	l/min	bar
660	-46,096	NODE	5,531				
3011	-46,396	NODE	5,902				
2273	-46,096	NODE	5,527				
1735	-46,396	NODE	6,079				
3077	-46,396	NODE	6,04				
2197	-46,396	NODE	6,003				
3091	-46,396	NODE	5,956				
3103	-46,096	NODE	3,883				
570	-46,096	NODE	3,937				
2792	-46,096	NODE	3,882				
3002	-46,396	NODE	5,757				
1966	-46,096	NODE	3,934				
2949	-46,396	NODE	5,785				
3139	-46,378	NODE	5,75				
27	-46,342	HEAD	2,86	270,6	160	267,73	2,8
30	-46,342	HEAD	2,838	269,53	160	267,73	2,8
24	-46,342	HEAD	2,803	267,89	160	267,73	2,8
25	-46,342	HEAD	2,803	267,85	160	267,73	2,8
20	-46,342	HEAD	2,814	268,39	160	267,73	2,8
19	-46,342	HEAD	2,873	271,2	160	267,73	2,8
23	-46,342	HEAD	2,863	270,71	160	267,73	2,8
28	-46,342	HEAD	2,801	267,77	160	267,73	2,8
29	-46,342	HEAD	2,8	267,73	160	267,73	2,8
21	-46,342	HEAD	2,813	268,35	160	267,73	2,8
22	-46,342	HEAD	2,851	270,18	160	267,73	2,8
26	-46,342	HEAD	2,84	269,66	160	267,73	2,8

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

Path No: 1

29 2792	-46,342 -46,096	160	267,73 267,73	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,021	120 0,275	2,8 -0,024 1,106	
2792 1966	-46,096 -46,096		-32,45 235,28	DN40 43,7		2,404 0 2,404	120 0,0215	3,882 0 0,052	
1966 3131	-46,096 -46,396		269,53 504,82	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	15,224 4,974 20,198	120 0,0885	3,934 0,029 1,787	
3131 3002	-46,396 -46,396		-94,44 410,37	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0026	5,75 0 0,006	
3002 2949	-46,396 -46,396		505,24 915,61	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0117	5,757 0 0,028	
2949 2526	-46,396 -46,396		507,22 1 422,83	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0264	5,785 0 0,063	
2526 3104	-46,396 -46,396		-79,15 1 343,68	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0237	5,848 0 0,057	
3104 3091	-46,396 -46,396		-71,63 1 272,05	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0214	5,905 0 0,051	
3091 2197	-46,396 -46,396		-65,08 1 206,96	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0194	5,956 0 0,047	
2197 3077	-46,396 -46,396		-59,58 1 147,38	DN80 83,1		2,1 0 2,1	120 0,0177	6,003 0 0,037	
3077 1735	-46,396 -46,396		-55,84 1 091,55	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0161	6,04 0 0,039	
1735 2387	-46,396 -46,396		-53,11 1 038,44	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0147	6,079 0 0,035	
2387 2215	-46,396 -46,396		-51,82 986,62	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0134	6,114 0 0,032	
2215 3024	-46,396 -46,396		-53,94 932,68	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0121	6,146 0 0,029	
3024 3008	-46,396 -46,396		-55,73 876,96	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0108	6,175 0 0,026	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
3008 2969	-46,396 -46,396		-58,99 817,97	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0095	6,201 0 0,023	
2969 2711	-46,396 -46,396		-63,28 754,69	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0081	6,224 0 0,02	
2711 1302	-46,396 -46,396		-68,52 686,17	DN80 83,1	2x(fm.90A.m) = 5,744	10,15 5,744 15,894	120 0,0068	6,243 0 0,109	
1302 1865	-46,396 -46,396		-42,78 643,4	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0061	6,352 0 0,015	
1865 2815	-46,396 -46,396		-52,85 590,55	DN80 83,1	2x(fm.90A.m) = 5,744	10,75 5,744 16,494	120 0,0052	6,366 0 0,085	
2815 2915	-46,396 -46,396		-29,53 561,02	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0047	6,452 0 0,011	
2915 2860	-46,396 -46,396		-37,72 523,31	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0041	6,463 0 0,01	
2860 628	-46,396 -46,396		-43,94 479,37	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0035	6,473 0 0,008	
628 2720	-46,396 -46,396		-48,93 430,44	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0029	6,481 0 0,007	
2720 1940	-46,396 -46,396		-53,09 377,36	DN80 83,1		2,1 0 2,1	120 0,0023	6,488 0 0,005	
1940 2111	-46,396 -46,396		-56,21 321,14	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0017	6,493 0 0,004	
2111 2302	-46,396 -46,396		-59,35 261,79	DN80 83,1		2,7 0 2,7	120 0,0011	6,497 0 0,003	
2302 2238	-46,396 -46,396		-62,51 199,28	DN80 83,1		2,3 0 2,3	120 0,0007	6,5 0 0,002	
2238 1265	-46,396 -46,396		-78,54 120,74	DN80 83,1		1,15 0 1,15	120 0,0003	6,502 0 0	
1265 2448	-46,396 -46,396		-46,21 74,53	DN80 83,1	1x(fm.Tee.m-Br) = 6,291	2,25 6,291 8,541	120 0,0001	6,502 0 0,001	
2448 901	-46,396 -46,096		0 74,53	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 1,658 38,158	120 0,0026	6,503 -0,029 0,098	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
901 214	-46,096 -46,396		174,34 248,87	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,35 4,974 40,324	120 0,0239	6,571 0,029 0,963	
214 232	-46,396 -48,396		2 981,01 3 229,87	DN100(114 .3) 107,9	4x(fm.90A.m) = 15,585	12,32 15,585 27,905	120 0,0337	7,564 0,196 0,941	
232 529	-48,396 -49,488		0 3 229,87	DN150(168 .3) 157,1		1,092 0 1,092	120 0,0054	8,701 0,107 0,006	
529 200	-49,488 -49,799		0 3 229,87	DN150(168 .3) 0		0,311 0 0,311	0 0,1174	8,814 0,03 0,037	VALVE: v4
200 213	-49,799 -49,946		0 3 229,87	DN150(168 .3) 0		0,147 0 0,147	0 0,2397	8,881 0,014 0,035	VALVE: v1
213 513	-49,946 -50,083		0 3 229,87	DN150(168 .3) 157,1		0,137 0 0,137	120 0,0054	8,931 0,013 0,001	
513 487	-50,083 -49,946		0 3 229,87	DN250 263	2x(fm.Tee.m-Br) = 33,724	4,612 33,724 38,336	120 0,0004	8,945 -0,013 0,017	
487 459	-49,946 -50,896		0 3 229,87	DN200 210,1	2x(fm.90A.m) = 12,398	3,07 12,398 15,468	120 0,0013	8,948 0,093 0,02	
459 443	-50,896 -51,396		0 3 229,87	DN200 217,2	1x(fm.90A.m) = 9,686	5,78 9,686 15,466	140 0,0008	9,062 0,049 0,013	
443 363	-51,396 -51,396		0 3 229,87	DN250 268,7	8x(fm.90A.m) = 87,84	162,429 87,84 250,269	140 0,0003	9,124 0 0,075	
363 347	-51,396 -50,196		0 3 229,87	DN200 217,2	1x(fm.90A.m) = 9,686	5,8 9,686 15,486	140 0,0008	9,198 -0,118 0,013	
347 305	-50,196 -48,964		0 3 229,87	DN200 210,1	2x(fm.90A.m) = 12,398	7,368 12,398 19,766	120 0,0013	9,094 -0,121 0,026	
305 296	-48,964 -49,097		0 3 229,87	DN200 0		0,133 0 0,133	0 0,0365	8,999 0,013 0,005	VALVE: v3
296 270	-49,097 -49,296		0 3 229,87	DN200 210,1		0,199 0 0,199	120 0,0013	9,017 0,019 0	
270 254	-49,296 -49,296		0 3 229,87	DN250 263	2x(fm.Tee.m-Br) = 33,724	3,1 33,724 36,824	120 0,0004	9,037 0 0,016	
254 245	-49,296 -49,088		0 3 229,87	DN200 210,1		0,208 0 0,208	120 0,0013	9,053 -0,02 0	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
245 238	-49,088 -48,955		0 3 229,87	DN200 0		0,133 0 0,133	0 0,0365	9,033 -0,013 0,005	VALVE: v2
238 SUP5	-48,955 -49,596		0 3 229,87	DN200 210,1	3x(fm.90A.m) = 18,597	5,859 18,597 24,456	120 0,0013	9,024 0,063 0,032	
SUP5								9,119	

Path No: 2

28 3103	-46,342 -46,096	160	267,77 267,77	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2751	2,801 -0,024 1,106	
3103 3097	-46,096 -46,096		32,45 300,22	DN40 43,7		2,4 0 2,4	120 0,0338	3,883 0 0,081	
3097 2273	-46,096 -46,096		270,6 570,81	DN40 43,7		14,066 0 14,066	120 0,1111	3,964 0 1,563	
2273 2699	-46,096 -46,396		-200,25 370,57	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0499	5,527 0,029 0,346	
2699 2812	-46,396 -46,396		-19,11 351,45	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,002	5,902 0 0,005	
2812 312	-46,396 -46,396		371,14 722,59	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0075	5,907 0 0,018	
312 2904	-46,396 -46,396		373,35 1 095,94	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0163	5,925 0 0,039	
2904 2879	-46,396 -46,396		-25,26 1 070,68	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0156	5,964 0 0,037	
2879 2799	-46,396 -46,396		-22,29 1 048,4	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,015	6,002 0 0,036	
2799 2750	-46,396 -46,396		-18,4 1 029,99	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0145	6,037 0 0,035	
2750 2645	-46,396 -46,396		-13,37 1 016,62	DN80 83,1		2,1 0 2,1	120 0,0141	6,072 0 0,03	
2645 2564	-46,396 -46,396		-7,59 1 009,03	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,014	6,102 0 0,033	
2564 2341	-46,396 -46,396		1,5 1 010,54	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,014	6,135 0 0,034	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
2341 2435	-46,396 -46,396		13,91 1 024,44	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0143	6,169 0 0,034	
2435 497	-46,396 -46,396		-16,26 1 008,18	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0139	6,203 0 0,033	
497 1179	-46,396 -46,396		-6,74 1 001,44	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0138	6,237 0 0,033	
1179 837	-46,396 -46,396		4,54 1 005,97	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0139	6,27 0 0,033	
837 730	-46,396 -46,396		17 1 022,97	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0143	6,303 0 0,034	
730 1559	-46,396 -46,396		30,96 1 053,94	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0151	6,338 0 0,036	
1559 1148	-46,396 -46,396		-51,03 1 002,91	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0138	6,374 0 0,033	
1148 1133	-46,396 -46,396		-37,8 965,11	DN80 83,1		3 0 3	120 0,0128	6,407 0 0,039	
1133 1278	-46,396 -46,396		-90,18 874,93	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0107	6,445 0 0,026	
1278 556	-46,396 -46,396		-83,29 791,64	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0089	6,471 0 0,021	
556 1851	-46,396 -46,396		-79,9 711,73	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0073	6,493 0 0,018	
1851 994	-46,396 -46,396		-79,25 632,48	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0059	6,51 0 0,014	
994 1393	-46,396 -46,396		-80,87 551,61	DN80 83,1		2,1 0 2,1	120 0,0046	6,524 0 0,01	
1393 695	-46,396 -46,396		-83,99 467,62	DN80 83,1		2,4 0 2,4	120 0,0034	6,534 0 0,008	
695 683	-46,396 -46,396		-89,23 378,39	DN80 83,1		2,7 0 2,7	120 0,0023	6,542 0 0,006	
683 661	-46,396 -46,396		-96,73 281,66	DN80 83,1		2,3 0 2,3	120 0,0013	6,548 0 0,003	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
661 1073	-46,396 -46,096		-128,13 153,53	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0098	6,551 -0,029 0,068	
1073 196	-46,096 -46,396		78,54 232,06	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,35 4,974 40,324	120 0,021	6,589 0,029 0,846	
196 214	-46,396 -46,396		2 748,94 2 981,01	DN100(114 .3) 107,9		3,4 0 3,4	120 0,0291	7,465 0 0,099	
214								7,564	

Path No: 3

25 2361	-46,342 -46,096	160	267,85 267,85	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,021	120 0,2752	2,803 -0,024 1,107	
2361 570	-46,096 -46,096		-32,27 235,58	DN40 43,7		2,404 0 2,404	120 0,0216	3,885 0 0,052	
570 3002	-46,096 -46,396		269,66 505,24	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	15,224 4,974 20,198	120 0,0886	3,937 0,029 1,79	
3002								5,757	

Path No: 4

24 596	-46,342 -46,096	160	267,89 267,89	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2753	2,803 -0,024 1,107	
596 950	-46,096 -46,096		32,27 300,17	DN40 43,7		2,4 0 2,4	120 0,0338	3,887 0 0,081	
950 660	-46,096 -46,096		270,71 570,88	DN40 43,7		14,066 0 14,066	120 0,1111	3,968 0 1,563	
660 2812	-46,096 -46,396		-199,74 371,14	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0501	5,531 0,029 0,347	
2812								5,907	

Path No: 5

21 2136	-46,342 -46,096	160	268,35 268,35	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,021	120 0,2762	2,813 -0,024 1,111	
2136 2117	-46,096 -46,096		-31,32 237,04	DN40 43,7		2,404 0 2,404	120 0,0218	3,9 0 0,052	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
2117 2949	-46,096 -46,396		270,18 507,22	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	15,224 4,974 20,198	120 0,0893	3,952 0,029 1,803	
2949								5,785	

Path No: 6

20 2709	-46,342 -46,096	160	268,39 268,39	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2763	2,814 -0,024 1,111	
2709 2206	-46,096 -46,096		31,32 299,71	DN40 43,7		2,4 0 2,4	120 0,0337	3,901 0 0,081	
2206 2931	-46,096 -46,096		271,2 570,91	DN40 43,7		14,066 0 14,066	120 0,1111	3,982 0 1,563	
2931 312	-46,096 -46,396		-197,56 373,35	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0506	5,545 0,029 0,351	
312								5,925	

Path No: 7

30 1966	-46,342 -46,096	160	269,53 269,53	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,022	120 0,2785	2,838 -0,024 1,12	
1966								3,934	

Path No: 8

26 570	-46,342 -46,096	160	269,66 269,66	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,022	120 0,2787	2,84 -0,024 1,121	
570								3,937	

Path No: 9

22 2117	-46,342 -46,096	160	270,18 270,18	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,034 2,987 4,022	120 0,2797	2,851 -0,024 1,125	
2117								3,952	

Path No: 10

27 3097	-46,342 -46,096	160	270,6 270,6	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2805	2,86 -0,024 1,128	
------------	--------------------	-----	----------------	--------------	--	-------------------------	---------------	-------------------------	--

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

3097**3,964****Path No: 11**

23 950	-46,342 -46,096	160	270,71 270,71	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2807	2,863 -0,024 1,129	
950								3,968	

Path No: 12

19 2206	-46,342 -46,096	160	271,2 271,2	DN25 27,2	1x(fm.Tee.m-Br) = 1,66 2x(fm.90A.m) = 1,328	1,035 2,987 4,022	120 0,2817	2,873 -0,024 1,133	
2206								3,982	

Path No: 13

2792 3103	-46,096 -46,096		0 32,45	DN40 43,7		2,406 0 2,406	120 0,0005	3,882 0 0,001	
3103								3,883	

Path No: 14

3131 3139	-46,396 -46,378		0 94,44	DN80 83,1	1x(fm.Tee.m-Br) = 6,291	2,301 6,291 8,592	120 0,0002	5,75 -0,002 0,001	
3139 2868	-46,378 -46,096		0 94,44	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	36,482 1,658 38,14	120 0,004	5,75 -0,028 0,151	
2868 942	-46,096 -46,396		19,11 113,55	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 3x(fm.90A.m) = 4,974	32,22 8,29 40,51	120 0,0056	5,874 0,029 0,226	
942 2365	-46,396 -46,396		0 113,55	DN100(114 .3) 107,9		1 0 1	120 0,0001	6,129 0 0	
2365 1618	-46,396 -46,396		200,25 313,8	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0004	6,129 0 0,001	
1618 1722	-46,396 -46,396		199,74 513,55	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0011	6,131 0 0,003	
1722 789	-46,396 -46,396		197,56 711,1	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,002	6,133 0 0,005	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
789 1369	-46,396 -46,396		104,41 815,51	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0026	6,138 0 0,006	
1369 1414	-46,396 -46,396		93,92 909,43	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0032	6,144 0 0,008	
1414 2048	-46,396 -46,396		83,49 992,92	DN100(114 .3) 107,9		2,402 0 2,402	120 0,0038	6,152 0 0,009	
2048 281	-46,396 -46,396		72,95 1 065,86	DN100(114 .3) 107,9		2,098 0 2,098	120 0,0043	6,161 0 0,009	
281 1159	-46,396 -46,396		63,43 1 129,29	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0048	6,17 0 0,012	
1159 810	-46,396 -46,396		51,6 1 180,89	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0052	6,182 0 0,013	
810 258	-46,396 -46,396		37,91 1 218,81	DN100(114 .3) 107,9	1x(fm.Tee.m-Br) = 7,922 1x(fm.90A.m) = 3,896	6,5 11,819 18,319	120 0,0055	6,195 0 0,102	
258 1644	-46,396 -46,396		70,2 1 289,01	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0062	6,296 0 0,015	
1644 1527	-46,396 -46,396		62,47 1 351,48	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0067	6,311 0 0,016	
1527 806	-46,396 -46,396		54,45 1 405,93	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0072	6,327 0 0,017	
806 292	-46,396 -46,396		46,28 1 452,21	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0077	6,344 0 0,018	
292 1248	-46,396 -46,396		37,56 1 489,76	DN100(114 .3) 107,9	2x(fm.90A.m) = 7,792	10,3 7,792 18,092	120 0,008	6,363 0 0,146	
1248 755	-46,396 -46,396		93,8 1 583,57	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,009	6,508 0 0,022	
755 425	-46,396 -46,396		90,65 1 674,21	DN100(114 .3) 107,9	2x(fm.90A.m) = 7,792	10,95 7,792 18,743	120 0,01	6,53 0 0,187	
425 985	-46,396 -46,396		119,71 1 793,92	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0114	6,717 0 0,027	
985 919	-46,396 -46,396		121,01 1 914,93	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0128	6,745 0 0,031	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
919 651	-46,396 -46,396		123,84 2 038,77	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0144	6,775 0 0,035	
651 726	-46,396 -46,396		128,18 2 166,95	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0161	6,81 0 0,039	
726 644	-46,396 -46,396		133,96 2 300,91	DN100(114 .3) 107,9		2,1 0 2,1	120 0,018	6,849 0 0,038	
644 277	-46,396 -46,396		140,2 2 441,11	DN100(114 .3) 107,9		2,4 0 2,4	120 0,0201	6,886 0 0,048	
277 384	-46,396 -46,396		148,58 2 589,69	DN100(114 .3) 107,9		2,7 0 2,7	120 0,0224	6,935 0 0,061	
384 196	-46,396 -46,396		159,25 2 748,94	DN100(114 .3) 107,9	4x(fm.90A.m) = 15,585	3,18 15,585 18,765	120 0,025	6,995 0 0,47	
196								7,465	

Path No: 15

2526 1721	-46,396 -46,096		0 79,15	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0029	5,848 -0,029 0,119	
1721 789	-46,096 -46,396		25,26 104,41	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	30,92 4,974 35,894	120 0,0048	5,937 0,029 0,172	
789								6,138	

Path No: 16

3104 2903	-46,396 -46,096		0 71,63	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0024	5,905 -0,029 0,099	
2903 1369	-46,096 -46,396		22,29 93,92	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	30,92 4,974 35,894	120 0,0039	5,974 0,029 0,141	
1369								6,144	

Path No: 17

3091 2838	-46,396 -46,096		0 65,08	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,002	5,956 -0,029 0,083	
2838 1414	-46,096 -46,396		18,4 83,49	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	30,92 4,974 35,894	120 0,0032	6,009 0,029 0,113	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

1414**6,152****Path No: 18**

2197	-46,396		0	DN40	1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5	120	6,003	
2797	-46,096		59,58	43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	4,974	0,0017	-0,029	
						41,474		0,07	
2797	-46,096		13,37	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	30,92	120	6,044	
2048	-46,396		72,95	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0025	0,029	
						35,894		0,088	

2048**6,161****Path No: 19**

3077	-46,396		0	DN40	1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5	120	6,04	
2689	-46,096		55,84	43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	4,974	0,0015	-0,029	
						41,474		0,062	
2689	-46,096		7,59	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	30,92	120	6,073	
281	-46,396		63,43	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0019	0,029	
						35,894		0,068	

281**6,17****Path No: 20**

1735	-46,396		0	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5	120	6,079	
1380	-46,096		53,11	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0014	-0,029	
						41,474		0,057	
1380	-46,096		-1,5	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	30,92	120	6,106	
1159	-46,396		51,6	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0013	0,029	
						35,894		0,047	

1159**6,182****Path No: 21**

2387	-46,396		0	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5	120	6,114	
2563	-46,096		51,82	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0013	-0,029	
						41,474		0,054	
2563	-46,096		-13,91	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	30,92	120	6,139	
810	-46,396		37,91	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0007	0,029	
						35,894		0,026	

810**6,195****Path No: 22**

2215	-46,396		0	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5	120	6,146	
207	-46,096		53,94	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0014	-0,029	
						41,474		0,058	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
207 258	-46,096 -46,396		16,26 70,2	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,02 4,974 39,994	120 0,0023	6,175 0,029 0,092	
258									6,296

Path No: 23

3024 2433	-46,396 -46,096		0 55,73	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0015	6,175 -0,029 0,062	
2433 1644	-46,096 -46,396		6,74 62,47	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,02 4,974 39,994	120 0,0018	6,208 0,029 0,074	
1644									6,311

Path No: 24

3008 1536	-46,396 -46,096		0 58,99	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0017	6,201 -0,029 0,069	
1536 1527	-46,096 -46,396		-4,54 54,45	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,02 4,974 39,994	120 0,0014	6,24 0,029 0,057	
1527									6,327

Path No: 25

2969 1683	-46,396 -46,096		0 63,28	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0019	6,224 -0,029 0,078	
1683 806	-46,096 -46,396		-17 46,28	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,02 4,974 39,994	120 0,0011	6,273 0,029 0,042	
806									6,344

Path No: 26

2711 2248	-46,396 -46,096		0 68,52	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658 1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5 4,974 41,474	120 0,0022	6,243 -0,029 0,091	
2248 292	-46,096 -46,396		-30,96 37,56	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,02 4,974 39,994	120 0,0007	6,305 0,029 0,029	
292									6,363

Path No: 27

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
1302 2066	-46,396 -46,096		0 42,78	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	28,75 4,974 33,724	120 0,0009	6,352 -0,029 0,031	
2066 1248	-46,096 -46,396		51,03 93,8	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	27,12 4,974 32,094	120 0,0039	6,353 0,029 0,126	
1248								6,508	

Path No: 28

1865 1095	-46,396 -46,096		0 52,85	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658 1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	28,75 4,974 33,724	120 0,0014	6,366 -0,029 0,046	
1095 755	-46,096 -46,396		37,8 90,65	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	27,12 4,974 32,094	120 0,0037	6,383 0,029 0,118	
755								6,53	

Path No: 29

2815 2027	-46,396 -46,096		0 29,53	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0005	6,452 -0,029 0,019	
2027 425	-46,096 -46,396		90,18 119,71	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0062	6,441 0,029 0,247	
425								6,717	

Path No: 30

2915 1996	-46,396 -46,096		0 37,72	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0007	6,463 -0,029 0,03	
1996 985	-46,096 -46,396		83,29 121,01	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0063	6,464 0,029 0,252	
985								6,745	

Path No: 31

2860 1946	-46,396 -46,096		0 43,94	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,001	6,473 -0,029 0,04	
1946 919	-46,096 -46,396		79,9 123,84	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0066	6,483 0,029 0,263	

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

919**6,775****Path No: 32**

628 1381	-46,396 -46,096		0 48,93	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658 1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5 4,974 41,474	120 0,0012	6,481 -0,029 0,049	
1381 651	-46,096 -46,396		79,25 128,18	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,007	6,501 0,029 0,28	

651**6,81****Path No: 33**

2720 412	-46,396 -46,096		0 53,09	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0014	6,488 -0,029 0,057	
412 726	-46,096 -46,396		80,87 133,96	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0076	6,515 0,029 0,304	

726**6,849****Path No: 34**

1940 1681	-46,396 -46,096		0 56,21	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0015	6,493 -0,029 0,063	
1681 644	-46,096 -46,396		83,99 140,2	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0083	6,527 0,029 0,33	

644**6,886****Path No: 35**

2111 1518	-46,396 -46,096		0 59,35	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0017	6,497 -0,029 0,07	
1518 277	-46,096 -46,396		89,23 148,58	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0092	6,537 0,029 0,368	

277**6,935****Path No: 36**

2302 937	-46,396 -46,096		0 62,51	DN40 43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658 1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	36,5 4,974 41,474	120 0,0018	6,5 -0,029 0,077	
-------------	--------------------	--	------------	--------------	---	-------------------------	---------------	------------------------	--

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
937 384	-46,096 -46,396		96,73 159,25	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	35,07 4,974 40,044	120 0,0104	6,547 0,029 0,418	
384								6,995	

Path No: 37

2238 1073	-46,396 -46,096		0 78,54	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	36,5 4,974 41,474	120 0,0028	6,502 -0,029 0,117	
1073								6,589	

Path No: 38

1265 685	-46,396 -46,396		0 46,21	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632 2x(fm.90A.m) = 3,316	36,8 9,948 46,748	120 0,0011	6,502 0 0,049	
685 1491	-46,396 -46,396		128,13 174,34	DN80 83,1	1x(fm.Tee.m-Br) = 6,291	2,25 6,291 8,541	120 0,0005	6,551 0 0,005	
1491 901	-46,396 -46,096		0 174,34	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	0,3 3,316 3,616	120 0,0124	6,556 -0,029 0,045	
901								6,571	

Path No: 39

2273 2365	-46,096 -46,396		0 200,25	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	30,92 4,974 35,894	120 0,016	5,527 0,029 0,573	
2365								6,129	

Path No: 40

2699 3011	-46,396 -46,396		0 19,11	DN80 83,1	1x(fm.Tee.m-Br) = 6,291	2,3 6,291 8,591	120 0	5,902 0 0	
3011 2868	-46,396 -46,096		0 19,11	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	0,3 3,316 3,616	120 0,0002	5,902 -0,029 0,001	
2868								5,874	

Path No: 41

2904 1721	-46,396 -46,096		0 25,26	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0003	5,964 -0,029 0,002	
--------------	--------------------	--	------------	--------------	-------------------------	-----------------------	---------------	--------------------------	--

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

1721**5,937****Path No: 42**

2879	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,002	
2903	-46,096		22,29	43,7		6,632	0,0003	-0,029	
						6,932		0,002	
2903									5,974

Path No: 43

2799	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,037	
2838	-46,096		18,4	43,7		6,632	0,0002	-0,029	
						6,932		0,001	
2838									6,009

Path No: 44

2750	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,072	
2797	-46,096		13,37	43,7		6,632	0,0001	-0,029	
						6,932		0,001	
2797									6,044

Path No: 45

2645	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,102	
2689	-46,096		7,59	43,7		6,632	0	-0,029	
						6,932		0	
2689									6,073

Path No: 46

2435	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,203	
207	-46,096		16,26	43,7		6,632	0,0002	-0,029	
						6,932		0,001	
207									6,175

Path No: 47

497	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,237	
2433	-46,096		6,74	43,7		6,632	0	-0,029	
						6,932		0	
2433									6,208

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

Path No: 48

1559	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,374	
2066	-46,096		51,03	43,7		6,632	0,0013	-0,029	
						6,932		0,009	
2066								6,353	

Path No: 49

1148	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,407	
1095	-46,096		37,8	43,7		6,632	0,0007	-0,029	
						6,932		0,005	
1095								6,383	

Path No: 50

1133	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,445	
2027	-46,096		90,18	43,7		6,632	0,0036	-0,029	
						6,932		0,025	
2027								6,441	

Path No: 51

1278	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,471	
1996	-46,096		83,29	43,7		6,632	0,0031	-0,029	
						6,932		0,022	
1996								6,464	

Path No: 52

556	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,493	
1946	-46,096		79,9	43,7		6,632	0,0029	-0,029	
						6,932		0,02	
1946								6,483	

Path No: 53

1851	-46,396		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,51	
1381	-46,096		79,25	43,7		6,632	0,0029	-0,029	
						6,932		0,02	
1381								6,501	

Path No: 54

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	
994 412	-46,396 -46,096		0 80,87	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,003	6,524 -0,029 0,021	
412								6,515	

Path No: 55

1393 1681	-46,396 -46,096		0 83,99	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0032	6,534 -0,029 0,022	
1681								6,527	

Path No: 56

695 1518	-46,396 -46,096		0 89,23	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0036	6,542 -0,029 0,025	
1518								6,537	

Path No: 57

683 937	-46,396 -46,096		0 96,73	DN40 43,7	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3 6,632 6,932	120 0,0041	6,548 -0,029 0,029	
937								6,547	

Path No: 58

661 685	-46,396 -46,396		0 128,13	DN80 83,1		1,15 0 1,15	120 0,0003	6,551 0 0	
685								6,551	

Path No: 59

2361 596	-46,096 -46,096		0 32,27	DN40 43,7		2,406 0 2,406	120 0,0005	3,885 0 0,001	
596								3,887	

Path No: 60

660 1618	-46,096 -46,396		0 199,74	DN40 43,7	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316 1x(fm.90A.m) = 1,658	30,92 4,974 35,894	120 0,0159	5,531 0,029 0,57	
-------------	--------------------	--	-------------	--------------	---	--------------------------	---------------	------------------------	--

PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

1618**6,131****Path No: 61**

2136	-46,096		0	DN40		2,406	120	3,9	
2709	-46,096		31,32	43,7		0	0,0005	0	
						2,406		0,001	
2709									3,901

Path No: 62

2931	-46,096		0	DN40	1x(fm.Tee.m-Br) = 3,316	30,92	120	5,545	
1722	-46,396		197,56	43,7	1x(fm.90A.m) = 1,658	4,974	0,0156	0,029	
						35,894		0,559	
1722									6,133

Path No: 63

1380	-46,096		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,106	
2564	-46,396		1,5	43,7		6,632	0	0,029	
						6,932		0	
2564									6,135

Path No: 64

2563	-46,096		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,139	
2341	-46,396		13,91	43,7		6,632	0,0001	0,029	
						6,932		0,001	
2341									6,169

Path No: 65

1536	-46,096		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,24	
1179	-46,396		4,54	43,7		6,632	0	0,029	
						6,932		0	
1179									6,27

Path No: 66

1683	-46,096		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,273	
837	-46,396		17	43,7		6,632	0,0002	0,029	
						6,932		0,001	
837									6,303

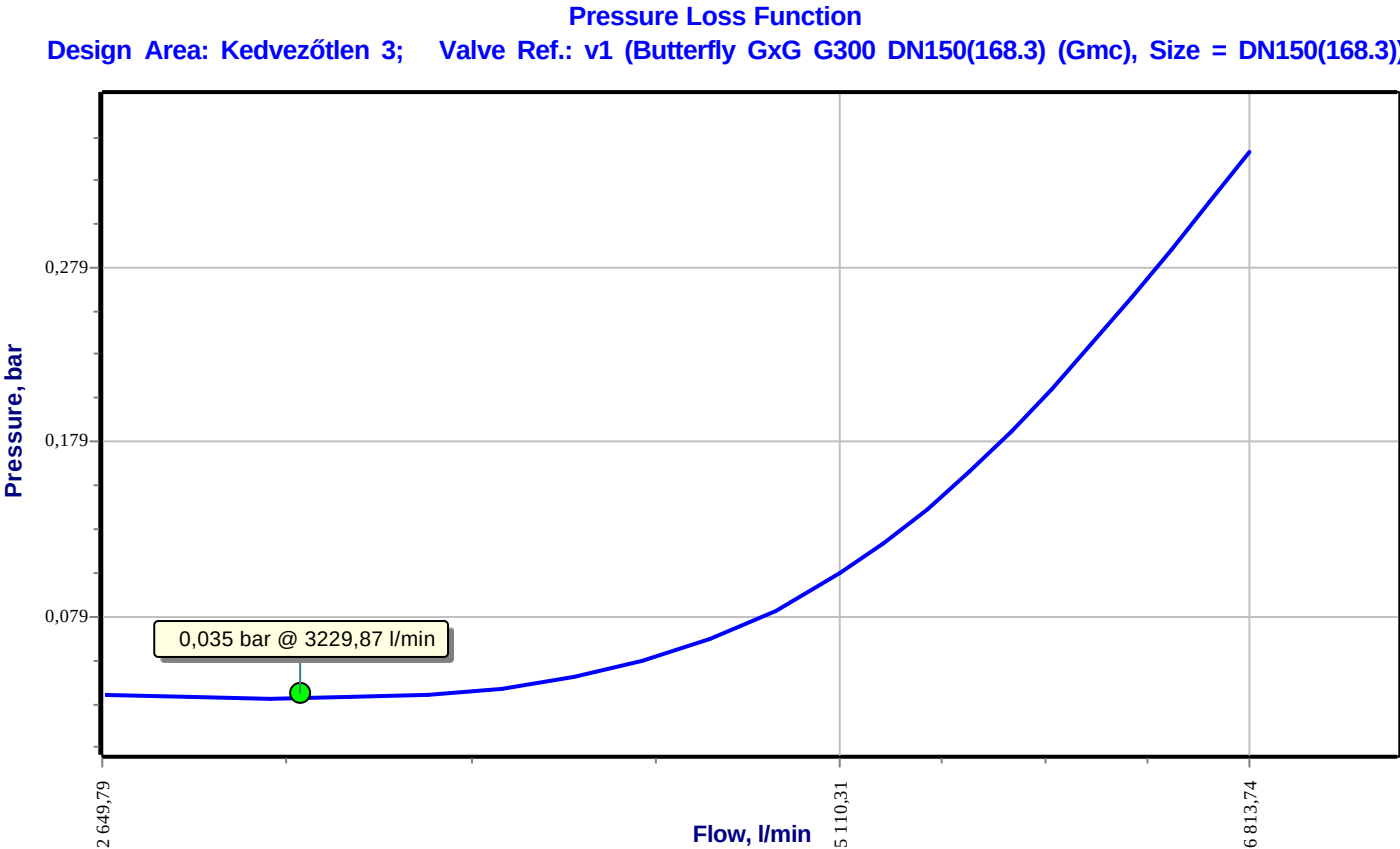
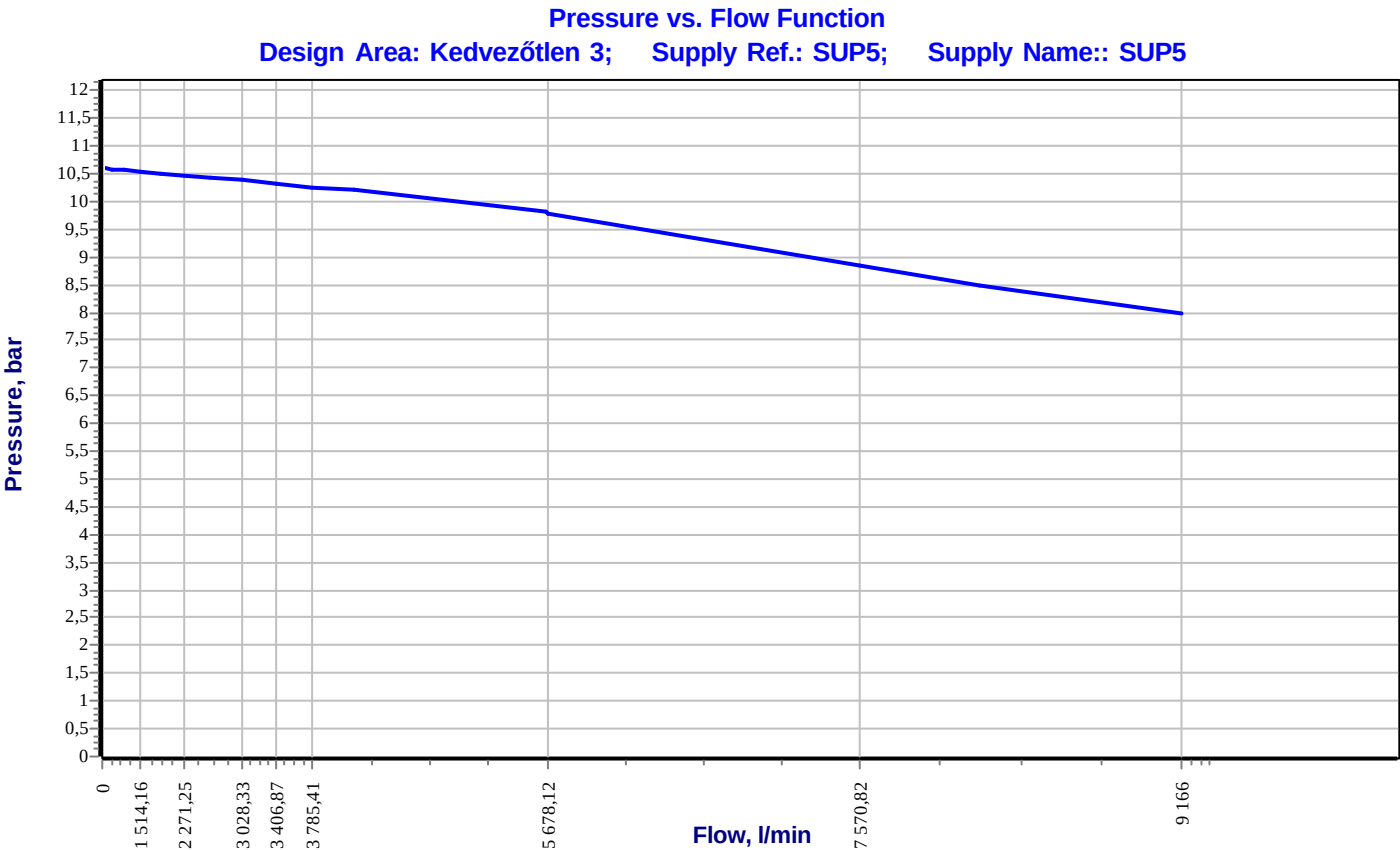
PIPE INFORMATION

Node 1 Node 2	Elev 1 Elev 2	K-Factor 1 K-Factor 2	Flow added (q) Total flow (Q)	Nominal ID Actual ID	Fittings quantity x (name) = length	L F T	C Factor Pf per m	total (Pt) elev (Pe) frict (Pf)	NOTES
	(m)	(lpm/bar1)	(l/min)	(mm)	(m)	(m)	(bar)	(bar)	

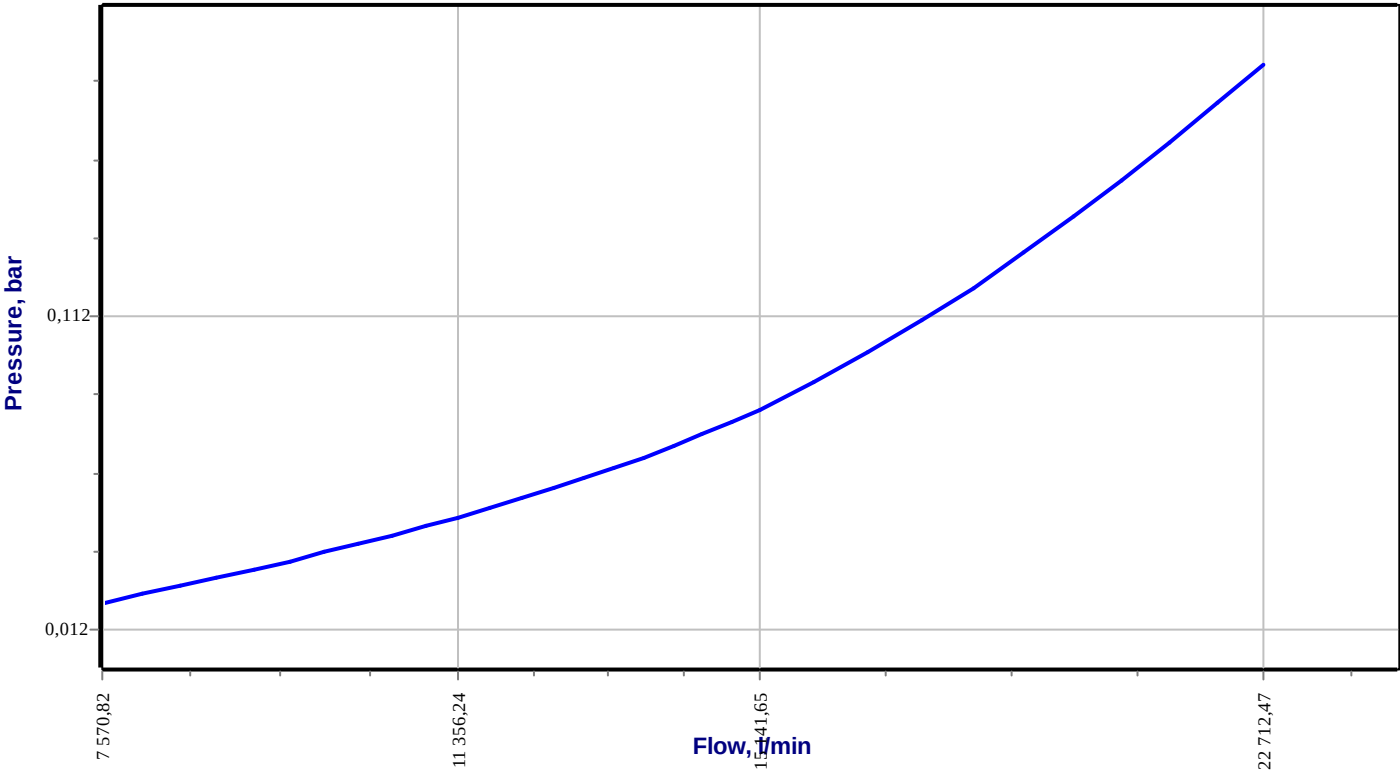
Path No: 67

2248	-46,096		0	DN40	2x(fm.Tee.m-Br) = 6,632	0,3	120	6,305	
730	-46,396		30,96	43,7		6,632	0,0005	0,029	
						6,932		0,003	
730								6,338	

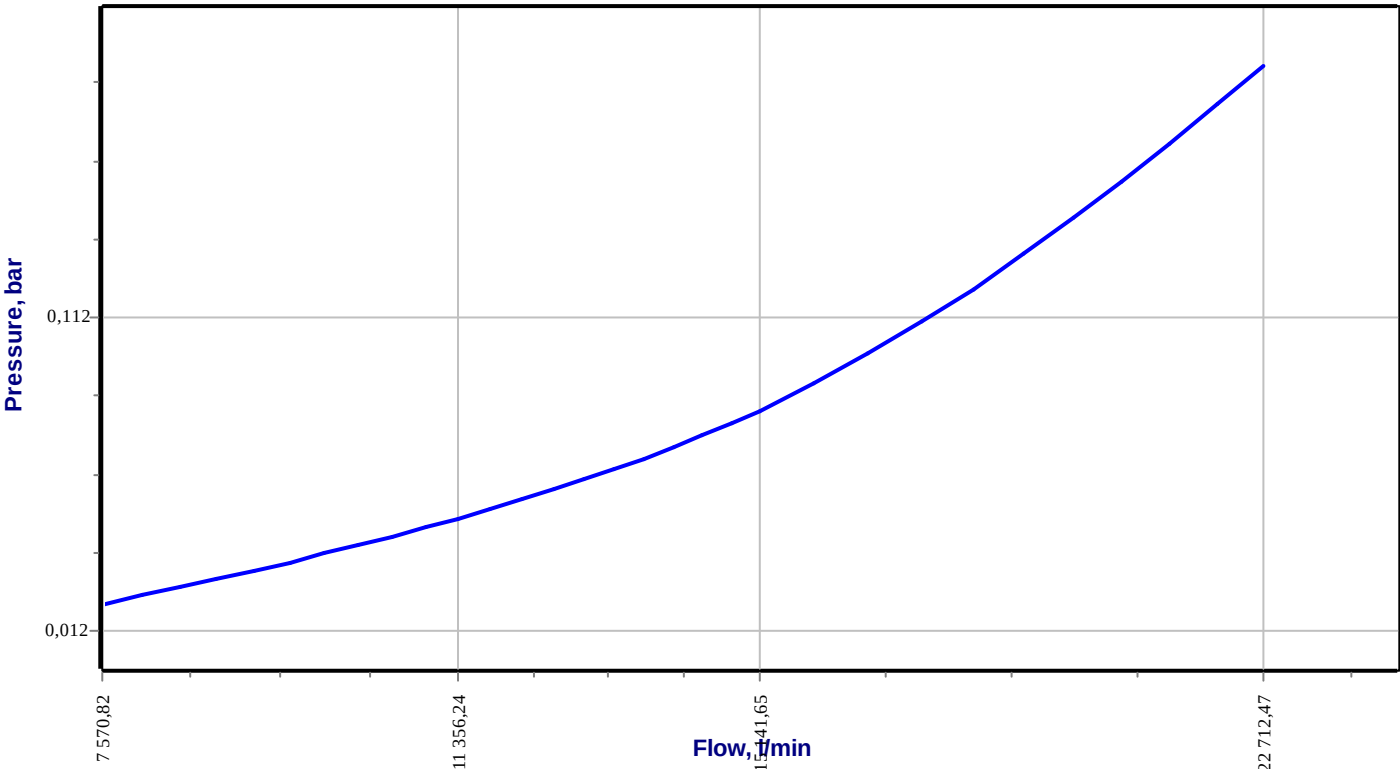
- * Pressures are balanced to a high degree of accuracy. Values may vary by 0.001 bar due to display rounding.
- * Maximum Velocity of 7,78 m/s occurs in the following pipe(s): ea198(2206-19)



Pressure Loss Function
Design Area: Kedvezőtlen 3; Valve Ref.: v2 (Butterfly GxG BFV-300 Open DN200 (Gmc), Size = DN200)



Pressure Loss Function
Design Area: Kedvezőtlen 3; Valve Ref.: v3 (Butterfly GxG BFV-300 Open DN200 (Gmc), Size = DN200)



Pressure Loss Function
Design Area: Kedvezőtlen 3; Valve Ref.: v4 (Alarm GxG AV-1-300 DN150(168.3) (Gmc), Size = DN150(168.3))

