

Saját készítésű csapadék szimulációs modell a magyarországi irányelvek tükrében

A self-developed precipitation simulation model in light of Hungarian guidelines

KOVÁCS Károly Lehel, SCHVARCKOPF Csaba

Optimum Detail Kft. 1133 Budapest, Kárpát utca 26. 8. em. 30. a.,
+36-30-4285719 info@optimumdetail.hu www.optimumdetail.hu

Abstract

In engineering practice in Hungary, the design of roof coverings, underlays, and rainfall drainage systems relies on both domestic and international standards and guidelines. The values obtained in this way are estimations based on real measurements. Today, we have access to particle simulations equipped with physical parameters and render models that simulate their interaction with the environment, which are primarily widespread in the field of visual design. In this article, we attempt to use a self-developed computer fluid dynamics (CFD) model for the verification of the guideline based cross-section of a rainwater drainage system (gutter) for various side-to-main water catchment area ratios.

Keywords: rainfall, simulation, computer fluid dynamics model, CFD, rainwater drainage

Kivonat

A magyarországi mérnöki gyakorlatban a tetőhéjazatok, alátétszigetelések és csapadékvíz elvezető rendszerek tervezése során hazai és külföldi szabványokra, irányelvekre támaszkodhatunk. Az így kapott értékek valós méréseken alapuló becslések. Ma rendelkezésünkre állnak fizikai paraméterekkel felruházott részecskéket és azok környezettel való viszonyát szimuláló rendermodellek, melyek elsősorban a látványtervezés területén elterjedtek. A cikkben kísérletet teszünk egy saját készítésű számítógépes fluid dinamikai (CFD) modell felhasználására az esővízelvezető rendszer (ereszcsatorna) irányelv alapján méretezett keresztmetszetének ellenőrzésére különböző oldalarányú vízgyűjtő terület esetén.

Kulcsszavak: csapadékvíz, szimuláció, számítógépes fluid dinamikai modell, CFD, esővízelvezetés

1. A CSAPADÉKVÍZ SZIMULÁCIÓ LEHETSÉGES MODELLJEI

Jelenleg a piacon a található szoftverek és az azokhoz tartozó fejlesztések elsősorban anyagtechnológiára, légtechnikára, gépészeti gyártmányokra (belső égésű motor befecskendezés stb.) és szélteher vizsgálatokra fókuszálnak. A legismertebb szoftverek a teljesség igénye nélkül:

Econ Engineering – ANSYS [1], OpenFOAM [2], SimFlow [3], MATLAB Computational Fluid Dynamics CFD Tool [4], Solidworks Computational Flow Simulation [5].

A saját szimuláció létrehozására először CAD szoftvert (Autodesk 3ds Max + tyFlow plug-in [7]) próbáltunk alkalmazni, de a CAD szoftverek esetében elsősorban beépített modulokra lehet támaszkodni, melyek esetében hamar elérjük a módosítható paraméterek kiválasztásának lehetőségét. Ahhoz, hogy ezekben a programokban tetszőlegesen változtassuk a fizikai paramétereket, programozó bevonására lenne szükség. Alapvetésként kezeltük, hogy a szimulációs modellünk később a

mindennapos mérnöki gyakorlatban megjelenhessen. Ahhoz, hogy a szimuláció felépítésének átláthatósága és a szimuláció megismétlése mások számára is lehetséges legyen, könnyen hozzáférhető, egyszerűen elsajátítható és teljesen testreszabható szoftvert kerestünk. A szimuláció létrehozására a fizikai tulajdonságú, valós kiterjedésű pontokkal számításokat végezni képes, majd azokat grafikusán megjelenítő a SideFX fejlesztő Houdini [8] szoftverét alkalmaztuk.

A csapadékvíz cseppenkénti viselkedésének modellezéséhez két eljárás alkalmazható: részecskesugár nyomkövető rendszer (particle tracing system) és a számítógépes fluid dinamika (computational fluid dynamics - CFD).

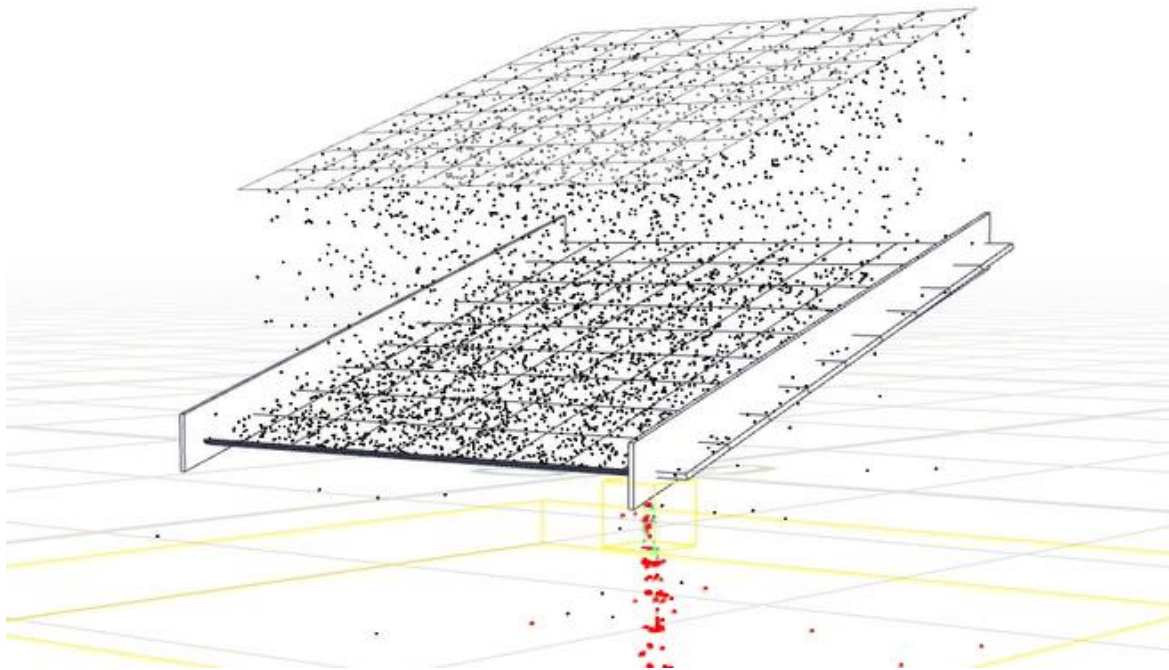
A részecskesugár nyomkövető rendszer (particle tracing system) a virtuális részecskéket egy forrásból szórja a felületre, ezek a részecskék önállóan viselkednek (egymással nem lépnek interakcióba), fizikai karakterük közül a sebességük nagysága és iránya meghatározó.

A számítógépes fluid dinamika (CFD) olyan matematikai modellezési eljárás, amely szimulálja a folyadékok áramlását és a részecskék interakcióját egymással és a környezetükkel. Az eső szimulálása során a CFD módszert a levegő és az esővíz áramlásának szimulálására használhatjuk.

A részecskesugár nyomkövető rendszer egyszerűbb (kisebb számítási kapacitásra van szükség), mint a CFD, és nagyságrendileg pontos eredményeket nyújthat az eső szimulálásában olyan helyeken, ahol az esőcseppek nagyobb mennyiségben és nagyobb sebességgel esnek, például egy teljes tetőfelület víznyelő pozícióinak meghatározása. A CFD módszernek az előnye, hogy teljes képet ad az esőcseppek mozgásáról, egymással való interakciójáról, tudja kezelni azt amikor a cseppek összefüggő vízfolyássá egyesülnek. A nagy számítási kapacitás miatt jelenleg ez a módszer elsősorban építészeti részletek, általános felületek kiemelt szakaszainak vizsgálatára szolgálhat.

Szeretnénk a csapadékot és annak és az épület héjazatának interakcióját minél valóságosabban szimulálni, ezért egy saját magunk által paraméterezett CFD modell építését választottuk. A modell felépítésének alapjait és az első „mért” eredményt mutatja be a cikk.

2. A SAJÁT KÉSZÍTÉSŰ SZÁMÍTÓGÉPES FLUID DINAMIKAI (CFD) MODELL FELÉPÍTÉSE



1. ábra. Pillanatkép a saját készítésű számítógépes fluid dinamikai (CFD) szimulációról

2.1. A tetőfelületre jutó vízmennyiség meghatározása

Ahhoz, hogy a csapadék és a tetőhéjalásának viszonyát, az “eső” karakterét meghatározzuk, szükségünk van az esővíz mennyiségének és intenzitásának meghatározására. Az esővíz mennyiségének és intenzitásának becsléséhez szabványos mérések hiányában a jelenlegi mérnöki gyakorlatban elterjedt csapadékvíz-elvezetési rendszerek méretezése során használt szabványokat vettük alapul. A csapadékvíz mennyiségét az ÉMSZ Bádógos munkák tervezési és kivitelezési szabályai [9] című irányelv alapján végeztük. Mivel a jelenleg hatályos szabványok belső vízvezetési rendszerek méretezésére vonatkoznak az irányelv a csatornák és lefolyócsövek méretezéséhez a MSZ EN 12056-3:2001 „Gravitációs vízvezető rendszerek épületen belül. 3. rész: Csapadékvíz-elvezetés, kialakítás és számítás” [10] szabványt alkalmazza kiegészítve a visszavont MSZ-04-134:1991 “Épületek csatornázása” szabvány 4.1.3.pontja [11] szerinti számítási eljárással és a DIN 1986-100 “Épületek és telkek vízvezetése” [12] adataival és elveivel:

$$Q_{cs} = \sum_{i=1}^n \Psi_i A_i q_e \text{ [l/s]} \quad (1)$$

Q_{cs} = a mértékadó csapadékvíz-terhelés [l/s] Ami a csapadékvíz adott méretű felület vízszintes vetületére egy másodperc alatt lehulló csapadék mennyisége literben kifejezve;

ψ = a lefolyási tényező. A felület jellegét leíró érték, ami a lehullott csapadéknak a csatornába jutó hányadát fejezi ki;

A = a vízgyűjtő terület [ha]. A tető vízszintes vetületi (alaprajzi) mérete

q_e = a mértékadó fajlagos csapadékvíz hozam [$\frac{1}{s \cdot ha}$]. A q_e értékének meghatározásához a MSZ-04-134:1991 [11] szerint a Budapesten 4 éves, vidéken 1 éves gyakoriságú 10 perces zápor-intenzitást kell alapul venni, melynek értéke Budapest esetében 274 [$\frac{1}{s \cdot ha}$]. A DIN 1986-100 szabvány 300 [$\frac{1}{s \cdot ha}$] csapadékvíz hozammal számol.

2.2. Az esőcseppek geometriájának meghatározása

Ahhoz, hogy a modell részecskéit fizikai tulajdonságokkal ruházzuk fel, szükségünk van az esőcseppek geometriájára, viszkozitására és sűrűségére. Az esőcseppek méretének meghatározásához az Ulbrich eloszlás középértékét számítottuk. [13] Az Ulbrich eloszlás alapján az esőcseppek minimális átmérője 1 mm, mivel ez alatt a cseppek esés közben elpárolognak maximális átmérője 10 mm, mivel e fölött a cseppek a légellenállás miatt két csepre szakadnak szét.

2.3. A vizsgálat időtartamának hossza

Mivel a tetők és vízvezetésük szempontjából a rövid idő alatt leeső nagy mennyiségű csapadék mérvadó (nyári zápor), a szabványok is az évi (4 évi) előfordulású nagymennyiségű csapadékvízzel számolnak. A vizsgálat hosszát a mértékadó fajlagos csapadékvízhozam értékéhez tartozó 10 perces eső intervallumban határoztuk meg. Mivel a renderszoftver frame-eket kezel 1 másodperc pedi 24 frame-ből áll, a 10 perces szimuláció hossza 14400 frame.

2.4. Egyszerűsítések

Mivel a számítási kapacitások a szimuláció jelenlegi készütségi szintjén korlátosak, egyszerűsítéseket alkalmaztunk. Mivel a modell elkészítésekor a felület jellegének meghatározásához nem készültek szabványos kísérletek, a lefolyási tényezőt 1-nek tekintjük, tehát a felületen nincs csapadék veszteség. Ez a MSZ-04-134:1991 [11] szabvány szerint fémlemez ($\psi=0,95$) fedésű tetőnek,

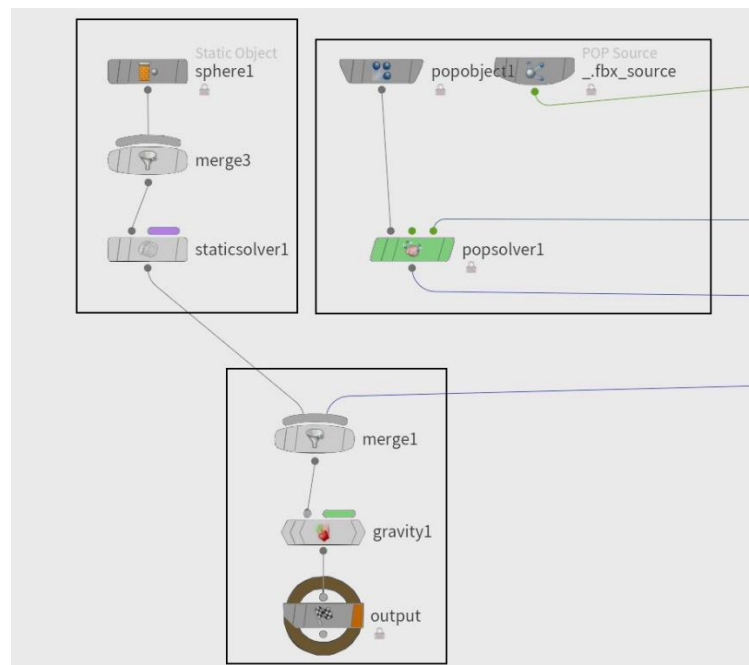
míg a DIN 1986-2 szerint 15° -nál meredekebb ($\psi=1$) tetőnek felel meg. A későbbi összehasonlíthatóság miatt a modellben egy 15° meredekségű "ideális" felületű, tehát közelítőleg fémlemez fedésű tetőt építettünk meg. Mivel a szimuláció számítási kapacitása végesek a vízgyűjtő területet az egyszerűsítés kedvéért 100 m^2 -ben határoztuk meg. A mértékadó fajlagos csapadékvíz hozam esetén a két érték közül a kedvezőtlenebbet (a DIN szabvány szerinti értéket) vettük figyelembe. Mivel a tetők szempontjából a rövid idő alatt leeső nagy mennyiségű csapadék mérvadó, a szimuláció hossza 10 perc (600 másodperc). Az eső karakterének megfelelően az Ulbrich eloszlás nyári záporhoz tartozó medián értékét, az 5 mm átmérőjű esőcseppet vettük alapul. 1 esőcsepp térfogata: $0,00006544984 \text{ [cm}^3\text{]}$

$$\text{Tehát: } \psi=1, A=100 \text{ [m}^2\text{]}=0.01 \text{ [ha]}, q_e=300 \left[\frac{1}{\text{s}\cdot\text{ha}}\right]$$

Ebből adódóan: $Q_{cs}=3 \text{ [l/s]}$ 10 perc eső esetén 1800 [l] csapadék esik le $100 \text{ [m}^2\text{]}$ felületre. A 180 l esővízben kerekítve $27.515.900 \text{ [db]}$ esőcsepp fér el. A szimulációban a ferde felületre 600 [s] alatt $27.515.900 \text{ [db]}$ eső csepp esik egyenletes eloszlásban, másodpercenként 45.860 [db] . Mivel a rendszerszoftver képkockákat (frame) kezel 1 másodperc pedig 24 képkocka, képkockánként nagyságrendileg 1900 [db] esőcseppről beszélünk.

A szimuláció jelen formájában nem használ széllal és levegőáramlással kapcsolatos adatokat, mivel ez jelentősen csökkentené az irányelvi értékekkel való összevethetőség lehetőségét.

2.5. A szimuláció paramétereinek meghatározása



2. ábra. A CFD szimuláció paramétereit

A szimulációt vezérlő egységek a következők voltak. Az első csoportban a geometriák modellje került (bal felső halmaz), a szoftver esetében ezek adott kiterjedésű ütközőfelületek: olyan síkok melyekkel a részecskék interakcióba lépnek: jelen esetben a tető síkja, az ereszcatorna, a lefolyócső és az oromszegélyek. A második csoport (jobb felső halmaz) a részecskéket (esőcseppeket) határozza meg a „popobject1” a részecskék (esőcseppek) fizikai paramétereit hordozza, míg a „POP Source” adja a felületet, ahol a részecskék létrejönnek, egyben itt határozható meg azok térben és időben való eloszlása, gyakorlatilag a virtuális esőfelhőről beszélünk. A „popsolver1” a részecskék egymással való interakcióját, folyadékként való viselkedését határozza meg, képkockánként újra számolva a fizikai paramétereiket. A harmadik halmaz (alsó) kezeli a rendszerre ható külső

paramétereket (jelen esetben csak a gravitációt) és a megjelenítést. A szimuláció gyakorlatilag választható időegység alatt filmszerűen mutatja be a benne létrehozott fizikai jelenséget. Mivel a részecskék egyedi önálló azonosítóval rendelkeznek, helyzetük folyamatosan meghatározható és bármikor megszámlálhatóak, létrehoztunk egy geometriai síkot, ahol a program a rajta áthaladó részecskéket megszámlálja, jelen esetben a függőleges lefolyó keresztmetszetét. Az ezen a síkon áthaladó részecskék számának és a létrehozott részecskék számának aránya megegyezik a lefolyóba jutó esőcseppek arányával.

3. A CFD SZIMULÁCIÓS MODELL FELHASZNÁLÁSA A MAGYARORSZÁGI IRÁNYELVEKBEN HASZNÁLT ERESZCSATORNA MÉRETEZÉS VIZSGÁLATÁRA

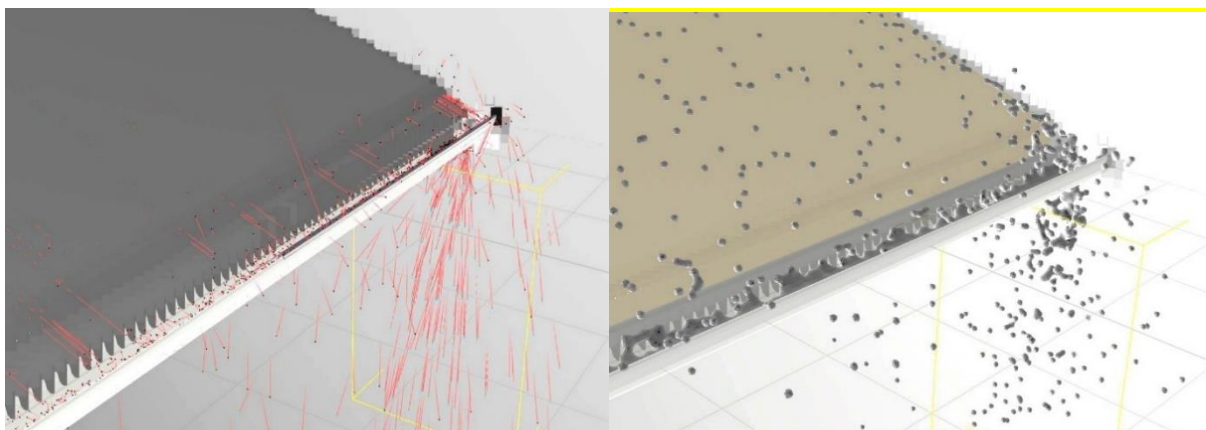
A publikáció terjedeme okán a modell eredményeit a hazai ÉMSZ Bádogos munkák tervezési és kivitelezési szabályai irányelvben előírt csatornakeresztmetszettel hasonlítjuk össze. Az ellenőrzésnél az irányelvben található elvet alapvetésként tekintjük: A méretezés alapelve, hogy elsőként a lefolyócső (ill. a csapadékvíz-ejtővezeték) keresztmetszetét kell meghatározni, s a csatornaméretét a lefolyócső keresztmetszetéhez kell hozzárendelni, mivel a csatorna a csapadékvizet nyílt csatornaként vezeti a lefolyócsőbe, s így a vízvezetési kapacitás szempontjából a lefolyócső keresztmetszete a meghatározó. [9] Az irányelvben 153 m² tetőfelülethez Ø=100 mm átmérőjű lefolyócső és 333 mm kiterített szélességű (92 cm² vízvezető keresztmetszetű) félkör szelvényű csatorna tartozik. Az irányelv kikötésként kezeli, hogy amennyiben a csatorna és a lefolyócső kapcsolata nem tölcser formájú, hanem hengeres, a lefolyóhoz tatózó tetőfelületet 30%-kal csökkenteni kell, jelen esetben 102 m²-re. A mértékadó csapadékvízmenyiségét és a csatornához beköthető felületet az irányelv alapján határoztuk meg, ezért az irányelvnek megfelelően választottunk hozzá ereszcatornát és lefolyócsövet. A csatorna lejtését 0,5%-ban határoztuk meg. Mivel az irányelv nem tartalmaz kikötést az egy lefolyócsőre jutó tetőfelület oldalainak arányára (csak azok nagyságára), a szimulációs modellt ennek határértékeinek meghatározásához használtuk.

Tehát adott egy 15°-os téglalap arányú tetőfelület, melynek az *a* (vízszintes) oldala mentén ereszcatornát helyezünk el, a *b* oldal pedig az esésvonallal párhuzamos, létrehozhatunk egy 100 m² méretű felületet, melynek oldalait parametrikusan változtathatjuk, szorzatuk azonos. Feltevésünk szerint, kedvezőtlen oldalarányok esetén feltorlás alakulhat ki a lefolyócsőben és mivel a csatorna nyitott előfordulhat, hogy az esőcseppek kiömlenek belőle.

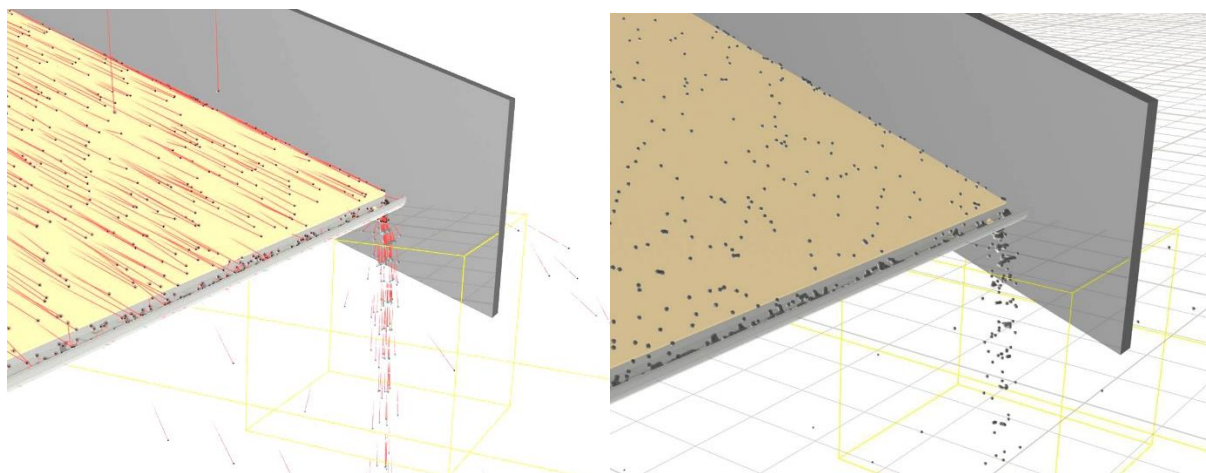
A hipotézisünket, hogy a tető aránya meghatározó, a szimuláció úgy méri, hogy a lefolyócsőbe érkező esőcseppeket megszámlálja. Mivel meghatároztuk, hogy 10 perc alatt hány darab esőcsepp esik a felületre (27.515.900 [db]) és meg tudjuk mérni, hogy ezek közül mennyi jutott a lefolyócsőbe, megállapítható, hogy az irányelvben használt méretezési elv milyen oldalarányok mentén, milyen hatékonysággal alkalmazható.

Mivel számítási kapacitásunk véges, meghatározunk két karakteresen eltérő oldalarányú felületet:

A szimulációval vizsgált modellek		1.táblázat
oldalak hosszúsága [m]	lefolyóba jutó esőcseppek száma [db]	lefolyóba jutó esőcseppek százalékos aránya [%]
a=10 b=10	27.497.315	99,93%
a=2 b=50	23.390.649	~85%



3. ábra. Esőcseppek mozgása a 2x50m arányú tetőfelület esetén CFD szimuláció alapján



4. ábra. Esőcseppek mozgása a 10x10m arányú tetőfelület esetén CFD szimuláció alapján

Amennyiben az irányelv [9] szerinti méretezési eljárással határozzuk meg az esővízelvezetési rendszerünk keresztmetszeteit, a szerkezetek a vízgyűjtő terület meghatározott oldalarányáig vezetik el a csapadékot. A mérnöki gyakorlatban természetesen nem alakulnak ki 50 méter nagyságrendű lejtéshosszak, a szigetelőanyagok, héjazatok maximális elemhossza is korlátos, ám a szimuláció rámutat, hogy nagyfeszítávú vagy bonyolult geometriájú tetőfelületek esetében az irányelvi méretezési eljárás csak korlátozottan alkalmazható, célszerű azt szimulációval kiegészíteni.

4. ÖSSZEGZÉS

Annak ellenére, hogy az irányelvben [9] található bemeneti adatokat vettük alapul és a csapadékot befolyásoló külső (például szél) és belső (azonos sugarú cseppekkel számoltunk) paraméterek jelentős részét nem modelleztük, a számítógépes fluid dinamikai (CFD) szimuláció rá tud mutatni az irányelv hiányosságára. A későbbiekben a szimuláció kiegészül a vízcseppek tulajdonságaival (méretbeli szórás, viszkozitás, sűrűség), mely elsősorban a különböző tetőhéjazatok esetén segítenek meghatározni a fedésen és az alátéthéjazaton folyó víz arányát, mennyiségét például egy pikkelyes, egy perforált vagy egy hézagosan rakott fedés esetében. A modell nagy előnye, hogy nem táblázatos értékek közötti interpolációval, hanem a konkrét épület háromdimenziós IFC modelljével futtatható a szimuláció. Az így kialakított egyedi mérés elsősorban a vízelvezetés síkját (alátéthéjazat vagy a fedés síkjába kerüljön a csatorna), a csatorna jellegét (résfolyóka, eresz, besüllyesztett vápa csatorna stb.) és a perforáció ideális mértékét segíthet meghatározni.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] ***: *Ansys Szoftver*. eCon Engineering, <https://www.econengineering.com/hu/simulation-software/ansys-system-tools/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [2] ***: *OpenFOAM*. ESI Group, <https://www.openfoam.com/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [3] ***: *Sim Flow*. EASY, <https://sim-flow.com/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [4] ***: *Sim Flow*. EASY, <https://sim-flow.com/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [5] ***: *Precise Simulation*. CFDTool - MATLAB CFD Simulation GUI &Toolbox, <https://github.com/precise-simulation/cfdtool/releases/tag/1.9.2> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [6] ***: *Quickly & Effectively Simulate Fluid Flow*. SOLID SOLUTIONS, <https://www.solidsolutions.co.uk/solidworks/simulation/packages/flow-cfd.aspx> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [7] ***: *tyFlow*. tyFlow, <https://pro.tyflow.com/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [8] ***: *Houdini*. SideFX, <https://www.sidefx.com/products/houdini/> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [9] Dr. Birghoffer Péter: *Bádogos munkák tervezési és kivitelezési szabályai*. Épületszigetelők, Tetőfedők és Bádogosok Magyarországi Szövetsége, Budapest, 2013, 194-198.
- [10] ***: *MSZ EN 12056-3:2001 Gravitációs vízelvezető rendszerek épületen belül. 3. rész: Csapadékvíz-elvezetés, kialakítás és számítás*. Magyar Szabványügyi Testület, <https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-adatok?standard=105374> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [11] ***: *MSZ-04-134:1991 "Épületek csatornázása"* Magyar Szabványügyi Testület, <https://ugyintezes.mszt.hu/webaruhaz/szabvany-adatok?standard=86183> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [12] ***: *DIN 1986-100 "Épületek és telkek vízelvezetése" (ford.)* Beuth Verlag GmbH, <https://www.beuth.de/de/norm/din-1986-100/264064948> (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).
- [13] Ulbrich, Carlton W.: *Natural Variations in the Analytical Form of the Raindrop Size Distribution*, Journal of Climate and Applied Meteorology Volume 22 1983, 1764-1775. https://journals.ametsoc.org/view/journals/apme/22/10/1520-0450_1983_022_1764_nvita_f_2_0_co_2.xml (Utolsó letöltés: 2023. 05.15).