

JÁRMŰ HŰTŐVENTILLÁTORÁT TERHELŐ VÍZPERMET MENNYISÉGÉNEK MEGHATÁROZÁSA KÜLÖNBÖZŐ ERŐSSÉGŰ ESŐK ÉS JÁRMŰ HALADÁSI SEBESSÉGEK ESETÉN

DETERMINING THE QUANTITY OF WATER SPRAY ON THE VEHICLE COOLING FAN FOR DIFFERENT RAIN STRENGTHS AND VEHICLE DRIVING SPEEDS

Szabó Szilárd egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Energetikai és Vegyipari gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék

ABSTRACT

Engine cooling fans in vehicles are exposed to various effects, including the effects of precipitation drops, the effects of wind, and the effects of ambient temperature. The impact of these factors on fan operation must be known to ensure that the cooling system can perform its duty under any circumstances. In the present study, the amount of precipitation hitting the cooling fan of a vehicle running in rainy weather is to be determined. This is necessary to clarify the boundary conditions for later laboratory and numerical investigations. Based on the literature on precipitation drops and on meteorological data, the amount of water spray hitting the cooling fan is determined in case of different precipitation drop sizes and different operating speeds.

1. BEVEZETÉS

A járművekben, tipikusan a jármű orr-részében a motortér elején a hűtőrács mögött helyezik el a motorhűtő berendezés ventilátorát. A cél az, hogy a menetszél kényszerkonvekciós folyamaton keresztül minél jelentősebb hűtőhatást fejtsen ki a hűtő radiátorban áramló hűtőközegre. A radiátor a ventilátor előtt, vagy a ventilátor után helyezkedik el. Ezen túl további számtalan variáció lehetséges a gépjármű homlokfala, hűtőmaszkja kialakításának tekintetében. Ezért alapesetként azt vizsgáljuk, hogy a ventilátor járókerékre akadálymentesen érkezik az esővel terhelt menetszél. Ez a menetszélből adódó hatás a különböző beépítés esetén adódó valós hatás felső becslésének tekinthető. Jelen esetben a menetszél víztartalmának meghatározásával foglalkozunk. A kapott mennyiségek például numerikus szimuláció esetén peremfeltételként alkalmazhatók, amikor a szimuláció már a konkrét beépítési helyzetet is figyelembe veszi.

2. JELÖLÉSEK

2.1. Jelölések

d_a esőcsepp átmérője,
 D_f ventilátor járókerék átmérője,
 v_a esőcsepp esési sebessége,
 ρ_a esőcsepp sűrűsége,
 T_a a levegő hőmérséklete,
 ν_a a levegő kinematikai viszkozitása T_a hőmérsékleten,
 ρ_a a levegő sűrűsége T_a hőmérsékleten,
Re Reynolds-szám,
 C ellenállástényező,
 H esési magasság,
 g nehézségi gyorsulás,
 Q menetszél térfogatárama,
 v_c a jármű haladási sebessége,
 t idő,
 $X \left[\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right]$ az eső fajlagos mennyisége,
 Q_r a ventilátort érő esőpermet térfogatárama,
 \dot{m}_r a ventilátort érő esőpermet tömegárama.

2.2. Indexek

a levegő (air),
 c jármű (car),
 d esőcsepp (drop),
 f ventilátor (fan),
 r eső (rain).

3. ESŐ TÍPUSAI ÉS ERŐSSÉGE

A folyadék halmazállapotú csapadék mennyisége jelentős mértékben változik időben és térben. Ezen belül a folyadékcseppek mérete is jelentős eltérést mutathat. Vizsgálatainkat $T_a = 20^\circ\text{C}$ hőfokú nyugvó levegőben ($\rho_a = 1,205 \text{ kg/m}^3$, $\nu_a = 15,273 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$) végezzük, a gravitáció hatására függőlegesen hulló eső esetén. A szakirodalom általában

4 különböző erősségű esőt különböztet meg. Ezek határait, a bennük hulló esőcseppek esési sebességét és a cseppméreteket igyekeztek meghatározni. Az 1. táblázatban néhány fellelhető adatsort foglaltunk össze. A táblázatban szerepelnek az időegységre jutó eső mennyiségei (X), a cseppméretek (d_d) és a cseppek esési sebességei (v_d). A táblázat

utolsó 3 oszlopában pedig ezek alapján jellemző közepes értékeket tüntettünk fel. A továbbiakban ezekkel fogunk számolni. Fontos megjegyezni, hogy a közepes értékek közelítésnek tekinthetők, hisz például egy adott eső esetén a cseppméretek nagysága és a különböző méretű cseppek aránya is igen különböző lehet.

1. táblázat Eső típusok és jellemzőik

| [1] | [2] | [3] | | | [4] | | közepes | | |
|---|---|---|---------|-----------|---|---------|---|------------|-------------|
| X | X | X | d_d | v_d | X | d_d | X | d_d | v_d |
| $\left[\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right]$ | $\left[\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right]$ | $\left[\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right]$ | [mm] | [m/s] | $\left[\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right]$ | [mm] | $\left[\frac{\text{mm}}{\text{h}}\right]$ | [mm] | [m/s] |
| 0÷2 | 0÷2,5 | 1,01 | 0,5÷2 | 2,06÷6,49 | - | <0,5 | 1 | 1 | 3,93 |
| 2÷10 | 2,6÷7,6 | 6,35 | 1,0÷2,6 | 4,03÷7,57 | 1-4 | >0,5 | 6,35 | 1,8 | 6,10 |
| 10÷50 | 7,6- | 25,4 | 1,2÷4,0 | 4,64÷8,83 | 1-100 | max 6÷8 | 25,4 | 2,6 | 7,56 |
| >50 | | | | | | | 80 | 5 | 9,11 |

4. AZ ESŐCSEPPEK ESÉSI SEBESSÉGEINEK MEGHATÁROZÁSA

Az esőcseppek esési sebességeinek számítással való meghatározásához az irodalomban különböző méretű és sűrűségű gömbszemcsékre vonatkozó összefüggéseket alkalmazzuk. A számos közelítő eljárás közül mi a 2. táblázatban szereplőkkel számoltunk. Ezek mindegyike a cseppre ható erőhatások alapján levezetett (1) összefüggést alkalmazza, amely:

$$v_d = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \left(\frac{\rho_d}{\rho_a} - 1\right) \cdot \frac{d_d \cdot g}{C}} \quad (1)$$

A különbség az eljárások között a C ellenállástényező és a

$$Re = \frac{v_d \cdot d_d}{\nu_a} \quad (2)$$

kifejezés szerinti Reynolds-szám közötti összefüggésekben van [7,8]. E kapcsolatokat öt különböző közelítés alapján a 2. táblázatban foglaljuk össze [8]. A táblázatban feltüntettük a kifejezések érvényességi tartományát is.

Az (1) összefüggés és a 2. táblázat implicit összefüggései alapján meghatároztuk az esési sebességeket $d_d = 0,1 \div 1,87$ mm cseppátmérő mellett. A 2. táblázatban szereplő összefüggések ugyanis

2. táblázat Az ellenállástényezők összefüggései különböző szerzők szerint [8]

| Szerző | ellenállástényező | érvényességi tartomány |
|-------------------|--|------------------------|
| Allen | $C \cong \frac{10}{\sqrt{Re}}$ | $30 < Re < 300$ |
| Oseen | $C = \frac{24}{Re} \cdot \left(1 + \frac{3}{16} \cdot Re\right)$ | $0,1 < Re < 10$ |
| Dellavalle | $C = 0,4 + \frac{40}{Re}$ | $2 < Re < 500$ |
| Schiller-Neumann | $C = \frac{24}{Re} \cdot (1 + 0,15 \cdot Re^{0,678})$ | $0,5 < Re < 800$ |
| Langmuir-Blodgett | $C = \frac{24}{Re} \cdot (1 + 0,197 \cdot Re^{0,63} + 0,0026 \cdot Re^{1,38})$ | $1 < Re < 100$ |

a Reynolds szám határ miatt nem érvényesek nagyobb méretű részecske esési sebességének számítására. A 3. táblázatban a számítások eredményeit foglaltuk össze. A táblázat utolsó oszlopában a különböző közelítésekkel kapott értékek átlagait tüntettük fel.

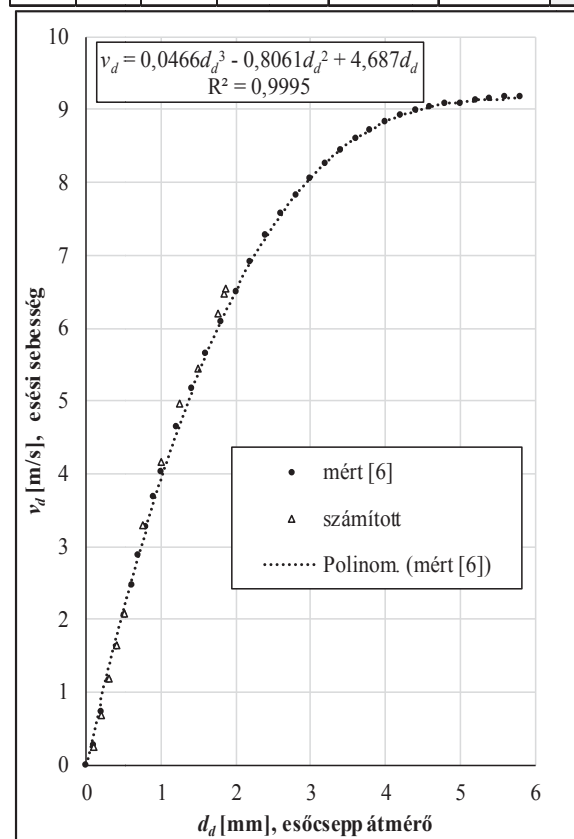
A szakirodalomban többen foglalkoztak az esőcseppek esési sebességének kísérleti úton való meghatározásával [5, 6]. Ezek közül alapműnek számít Gunn és Kinzer [6] tanulmánya. Ők $d_d = 0,1 \div 5,8$ mm cseppátmérő tartományon végeztek méréseket. Eredményeik alapján készítet-

tük az 1. ábrát, amelyből kiindulva a cseppátmérő d_d [mm] és a v_d [m/s] esési sebesség között az alábbi (3) közelítő összefüggést találtuk:

$$v_d = 0,0466 \cdot d_d^3 - 0,8061 \cdot d_d^2 + 4,687 \cdot d_d \quad (3)$$

3. táblázat Esőcseppek esési sebességei

| d [mm] | v_d [m/s] | | | | | átlag |
|-------------|-------------|-------|------------|------------------|-------------------|-------|
| | Allen | Oseen | Dellavalle | Schiller-Neumann | Langmuir-Blodgett | |
| 0,10 | - | 0,230 | - | 0,245 | 0,234 | 0,236 |
| 0,20 | 0,850 | 0,519 | 0,653 | 0,700 | 0,652 | 0,675 |
| 0,30 | 1,275 | - | 1,275 | 1,162 | 1,060 | 1,193 |
| 0,40 | - | - | 1,895 | 1,600 | 1,426 | 1,640 |
| 0,50 | - | - | 2,455 | 2,014 | 1,750 | 2,073 |
| 0,75 | - | - | 3,600 | 2,968 | - | 3,284 |
| 1,00 | - | - | 4,494 | 3,841 | - | 4,167 |
| 1,25 | - | - | 5,237 | 4,659 | - | 4,948 |
| 1,50 | - | - | - | 5,437 | - | 5,437 |
| 1,75 | - | - | - | 6,198 | - | 6,198 |
| 1,85 | - | - | - | 6,475 | - | 6,475 |
| 1,87 | - | - | - | 6,532 | - | 6,532 |



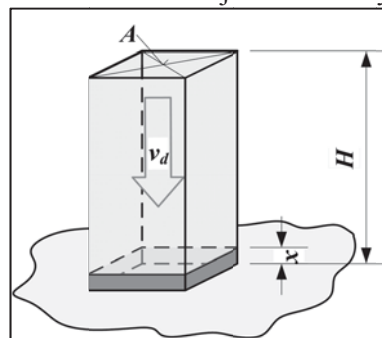
1. ábra Az esőcseppek esési sebessége

Megemlítjük, hogy Beard [9] is adott 3 cseppátmérő tartományra egy-egy polinomiális összefüggést. Az 1. ábrában feltüntettük az általunk számolt, a 3. táblázatban feltüntetett eredményeket is. Jól látható, hogy a számítások kellő pon-

tossággal, de némi felülbecsléssel követik a mérések eredményeit.

4. A HŰTŐVENTILÁTORT ÉRŐ ESŐPERMET MENNYISÉGE

Feltételezve, hogy adott típusú eső esetén az esőcseppek mérete azonos, vagy másképpen fogalmazva közepes szemcse mérettel számolva meghatározzuk a hűtőventilátorra jutó vízmennyiséget.



2. ábra Az esőcseppek a légtérben

A Földfelszín A nagyságú felületére t idő alatt hulló eső eső x rétegvastagsága $x = X \cdot t$ (2. ábra). A v_d esési sebességgel érkező esőcseppek ezen idő alatt $H = v_d \cdot t$ magasságú utat tettek meg. Ez azt jelenti, hogy egy A nagyságú terület felett az esőcseppek egy $V = H \cdot A = v_d \cdot t \cdot A$ térfogatban oszlottak el, miközben e térfogatban az esőcseppek összterfogata $V_r = x \cdot A = X \cdot t \cdot A$ volt. Ebből következően egységnyi levegő térfogatban az esőcseppek k_r részaránya:

$$k_r = \frac{V_r}{V} = \frac{X}{v_d} \quad (4)$$

E vízarányú térben v_c sebességgel közlekedő jármű elején függőlegesen elhelyezkedő A_f járókerék felülettel rendelkező hűtőventilátor időegység alatt $Q = v_c \cdot A_f$ légtérfogattal (menetszél) találkozik, mint az a 3. ábrán látható. Ebből a ventilátort érő esővíz térfogatárama

$$Q_r = k_r \cdot Q = \frac{X}{v_d} \cdot v_c \cdot A_f = \frac{v_c}{v_d} \cdot X \cdot A_f, \quad (5)$$

tömégárama pedig:

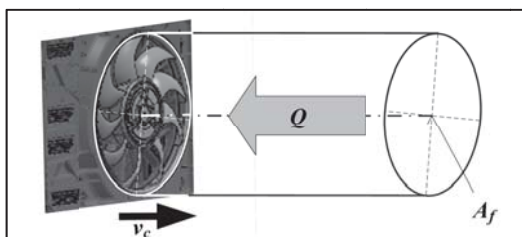
$$\dot{m}_r = \rho_d \cdot Q_r = \rho_d \cdot \frac{v_c}{v_d} \cdot X \cdot A_f. \quad (6)$$

A (5) és (6) összefüggésekből látható, hogy a ventilátort érő vízmennyiség egyenesen arányos a jármű haladási v_c sebességével és a ventilátor járókerékének A_f felületével. Mivel az 1. táblázat utolsó három oszlopa szerint mind az X esőmennyiség, mind pedig a v_d esési sebesség (ez utóbbi éppen a (3) összefüggés szerint) kapcsolatban áll a

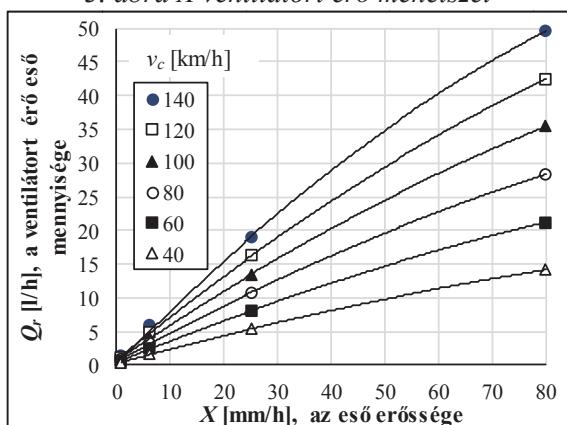
d_d cseppmérettel, így ezek nem függetlenek egymástól. Eredőként az X esőmennyiséggel párhuzamosan növekvő v_d esési sebesség ellenére a $k_r = X/v_d$ részarány, és így a ventilátort érő Q_r vízmennyiség a vizsgált X tartományon fokozatosan nő, ahogy az a 3. ábrán látható. A növekedés közel lineáris, de például $v_c = 100$ km/h járműsebesség esetén jobb, 99,95%-os közelítést ad a

$$Q_r = -0,00133 \cdot X^2 + 0,5760 \cdot X, \quad (7)$$

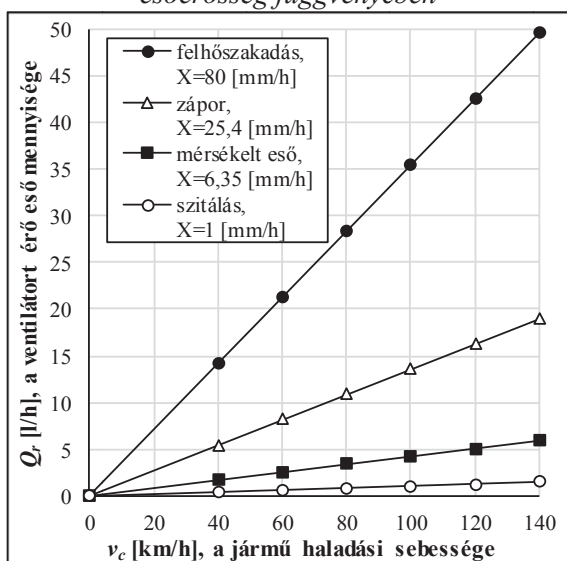
Q_r [l/h], ha X [mm/h]
négyzetes összefüggés.



3. ábra A ventilátort érő menetszél



4. ábra A ventilátort érő esővíz mennyisége az esőerősség függvényében



5. ábra A ventilátort érő esővíz mennyisége a jármű haladási sebességének függvényében

Másik fontos diagramot kapunk (lásd 5. ábrát), ha az (5) kifejezés segítségével ábrázoljuk a négy jellegzetes esőtípus esetén az átlagos esőmennyiség (és cseppméret), mint paraméter függvényében (lásd az 1. táblázat utolsó három oszlopa) a ventilátort érő esővíz térfogatáramát a jármű különböző haladási sebessége esetén. A 4. és 5. ábrákon ismertett mennyiségi adatok felhasználásával lehetőség van a ventilátorra ható vízmennyiség hatásának (mint peremfeltételnek) elemzésére numerikus módszerekkel. Kísérleti vizsgálatok esetén a szükséges vízmennyiség biztosításához jelentenek kiinduló adatokat.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Európai Unió és a Magyar Kormány támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával valósult meg az „E-mobility Miskolcra: Hűtővíz keringető szivattyú és motorhűtő ventilátor továbbfejlesztése az elektromos járművekben elvárt magasabb minőségi követelmények figyelembevételével” című GINOP-2.2.1-15-2017-00090 azonosítójú projekt keretében.

6. IRODALOM

- [1] National Meteorological Library, and Archive, Fact sheet No. 3 – *Water in the atmosphere*, <http://www.spilve.lv/library/meteo/Water.pdf>
- [2] Glossary of Meteorology. Rain, American Meteorological Society, <http://glossary.ametsoc.org/wiki/Rain>
- [3] <http://www.shorstmeyer.com/wxfaqs/float/rdtable.html>
- [4] <https://hu.wikipedia.org/wiki/Csapadék>
- [5] A. F. Spilhaus: *Raindrop Size, Shape, and Falling Speed*, Journal of Meteorology, Volume 5, 1948, pp. 108-110.
- [6] R. Gunn and G. D. Kinzer: *The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air*, Journal of Meteorology, Volume 6, 1949, pp. 243-248.
- [7] S. Yuu and Y. Ohtani: *Particle Motion in Fluid*, Powder Technology Handbook, Third Edition, Chapter 2.3, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2006, pp. 125-132.
- [8] Dr. Koncz István: *Portalanítás és Porleválasztás*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982. 236
- [9] K. V. Beard: *Terminal Velocity and Shape of cloud and Precipitation Drops Aloft*, Journal of the atmospheric Sciences, volume 33, 1976, pp. 851-864