

JÉGESŐ INTENZITÁSBECSLÉSE PEREMES KORONG SZIMULÁCIÓJA ALAPJÁN

ESTIMATION OF HAILSTORM INTENSITY BASED ON SIMULATION OF A RIMMED DISC

Dr. Csík Norbert^{1*}, Zsupányi Krisztián¹, Dr. Drenyovszki Rajmund¹

¹ Informatika Tanszék, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Neumann János Egyetem, Magyarország
<https://doi.org/10.47833/2021.3.CSC.002>

Kulcsszavak:

Jégeső,
Intenzitás,
Becslés,
Korong,
Szimuláció

Keywords:

Hailstone, hailstorm,
Intensity,
Estimation,
Disc,
Simulation

Cikktörténet:

Beérkezett 2021. október 10.
Átdolgozva 2021. október 30.
Elfogadva 2021. november 8.

Összefoglalás

A jégkár hatása a mezőgazdaságra a kisebb mértékű levél- és terménykártól a teljes veteménypusztulásig terjedhet. A kártérítések és biztosítások valamekkora védelmet jelentenek a gazdák számára, de a kár mértékét nehéz becsülni: a jégeső megjelenése változó területi eloszlású lehet, emellett a jég szemek mérete, sebessége és az ezek által együttesen meghatározott becsapódási energia is széles skálán mozoghat. A következőkben egy olyan modellt mutatunk be, mely a földrajzi jellegzetességeket is figyelembe véve jégeső-szenzorként funkcionálhat, mely alapján következtetések tehetők a pusztítás mértékére is.

Abstract

The impact of ice damage in agriculture covers a wide spectrum, from minor leaf and crop damage to total crop destruction. While compensation and insurance provide some protection for farmers, the extent of the damage is difficult to estimate: hailfall can occur over a various range of areas, and the size, speed and combined impact energy of hailstone grains can vary widely. In the following, we present a model that can be used as a hail sensor, taking into account geographic features, to infer the extent of destruction.

1. Bevezetés

A jégkár a mezőgazdaságban a kisebb mértékű levél- és terménykártól a teljes veteménypusztulásig terjedhet. A kártérítések ugyan valamekkora védelmet jelentenek a gazdák számára, de annak mértékét nehéz becsülni: a jégeső megjelenése változó területi eloszlású, a jég szemek mérete, sebessége és az ezek által együttesen meghatározott becsapódási energia is széles skálán mozoghat és előfordulnak olyan esetek is, amikor a gazda gyenge terményt ígérő területre kér jogtalanul kártérítést, holott a növényzet állapota valójában nem a jégkár következménye. Ennek igazságtartalmát - bár első hallásra könnyűnek tűnik -, napok múltán nem egyszerű eldönteni, sem a kár tényleges mértékét megítélni. A felmerülő viták tisztázását segítené, ha a kérdéses területet olyan szenzorok figyelnék, melyek a jégkár felmérésében kiindulópontként szolgálhatnak.

* Kapcsolattartó szerző. Tel.: +36 202 406 599
E-mail cím: csik.norbert@gamf.uni-neumann.hu

2. Felhasznált eszközök és módszerek

A meteorológiai központok a jégesőket radarral és bejelentések alapján azonosítják, pontos kép legfeljebb 5 perc felbontású radarképekkel becsülhető [1-3]. A pusztítás az esemény időtartamától, a jég szemek nagyságától és sebességétől, pontosabban becsapódási energiájától függ, mely azonban széles skálán mozog, ugyanis a sebességet és méretet is sok tényező befolyásolja.

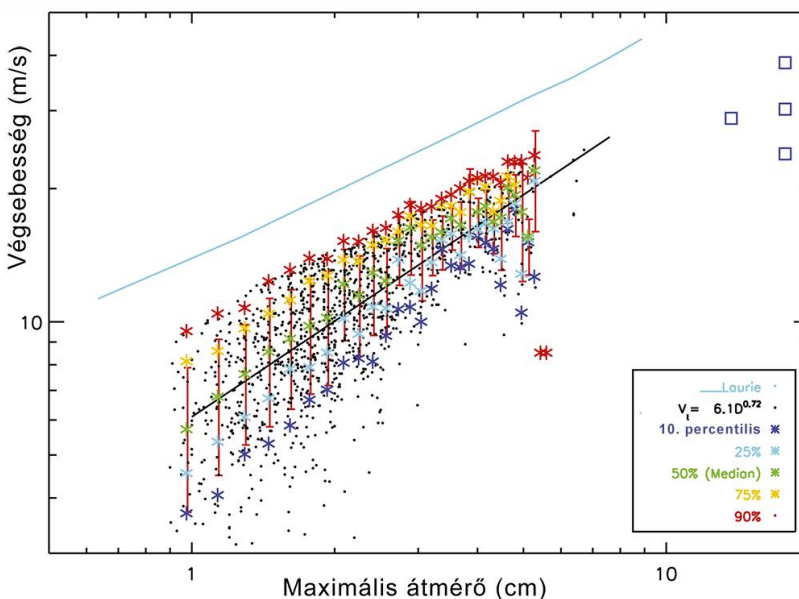
A kialakuló jég szemeket elsőként erős, felfelé tartó áramlat sodorja újra és újra a jegesedési zónába, ahol azok felületére újabb és újabb rétegek rakódnak, összetapadhatnak, változatos, karfiolszerű formákat hozva létre, réteges, részben buborékos jég szerkezetet alakítva ki (1. ábra).



1. ábra. Jég szem (Kecskemét, 2017-es jégkár)

Amikor nagy sebességű feláramlások már nem képesek megtartani az egyes darabokat, azok gyorsulva zuhanni kezdenek.

A kezdősebességet az határozza meg, hogy a feláramlási ciklusból a jég szem milyen fázisban lép ki, illetve lefelé haladva milyen intenzitású és irányban ható áramlatban halad. A végsebességet végül a légellenállás korlátozza leginkább, de az eredményeket így is magas szórás fogja jellemezni. Bizonyos szemek gyorsabban eshetnek, mint a szintén lefelé hulló, könnyen deformálódó esőcseppek, így azokon átvesztve az eső fékező hatást is megjeleníthet. A kisebb szemcsék alakja általában közelebb van a gömb alakhoz, tömörebbek, felületük simább, a nagyobbak pedig érdesek, akár több apróbb alaktalan felületemmel is rendelkeznek, buborékos-habos szerkezetük miatt azonban átlagosan kisebb sűrűségűek. A teljesen sima felület körüli lamináris áramlás nagyobb sebességeknél nagyobb légellenállást is megjeleníthet, mint az érdesebb felület okozta turbulens áramlás azzal szemben is, hogy a hatásos keresztmetszet esetenként nagyobb.



2. ábra. Jég szemek végsebessége a maximális átmérők függvényében (forrás: [5]).

A jég szemek átlagos átmérője és becsapódás előtti sebessége közötti összefüggés annak ellenére, hogy nyilvánvaló fizikai alapokon nyugszik, nagy szórással rendelkezik, melyre többnyire különböző, fizikai méretről származó mintákra illesztett és parametrizált összefüggéseket adnak meg. (2. ábra) [4, 5].

A legegyszerűbb dinamikai modell alapján a jég szem sebességét és mozgási energiáját a gravitáció és a súrlódási erő alakítja ki (1,2).

A végsebességét a jég szem akkor éri el, ha már nem gyorsul tovább, tehát fennáll a következő összefüggés:

A végsebességét a jég szem akkor éri el, ha már nem gyorsul tovább, tehát fennáll a következő összefüggés:



$$F_g - F_s = m \cdot a = 0 \quad \text{azaz} \quad mg = C_A \cdot A \cdot \frac{1}{2} \rho_l v^2 \quad (1)$$

ahol C_A -alaki tényező, A - hatásos keresztmetszet, ρ_l - levegő sűrűsége, v - a közeg tárgyhoz képesti sebessége (tárgysebesség). Feltéve, hogy a jég a szabályos gömb alakot közelíti (V_j -jég térfogata, ρ_j - jég sűrűsége):

$$mg = \rho_j V_j g = \rho_j \frac{4}{3} \frac{d^3}{8} \pi g, \quad C_A \cdot A \cdot \frac{1}{2} \rho_l v^2 = C_A \cdot \frac{d^2}{4} \pi \cdot \frac{1}{2} \rho_l v^2, \quad \text{ahonnan} \quad v = \sqrt{\frac{4 \rho_j g d}{3 \rho_l C_A 100}} \quad (2)$$

A jégszem sűrűsége $0.35\text{-}0.55\text{ g/cm}^3$ közötti, ezt vegyük átlagosan 0.45 g/cm^3 -nek, a levegő sűrűsége 18°C fokon 0.00125 g/cm^3 , az alak tényező enyhén bordázott jégformákra 0.4 , a gravitációs gyorsulás 9.81 m/s^2 , az átmérőt (d)-t cm-ben írjuk be. Az elméleti végsebesség ideális gömb formára ezzel:

$$v = 10.85 \cdot d^{0.5} \text{ [m/s]}. \quad (3)$$

Valós fizikai mérésekből – igen nagy, esetenként akár 50% -os szórás mellett - hasonló összefüggésekre jutottak (3. ábra). A legjobban illeszkedő függvény a jégszem végső mozgási energiájára az átmérő függvényében [4, 5]:

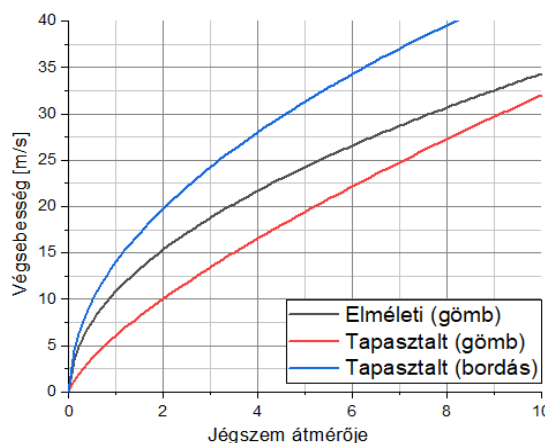
$$E_m = 0.0458 \cdot d^4 \text{ [J]}. \quad (4)$$

A becsapódási energia tehát adott bizonytalanság mellett utalhat az átmérő mibenlétére is, de fontosabb, hogy a kár becsüléséhez a becsapódások intenzitásának és gyakoriságának megfelelő statisztikája is elég lehet. A mozgási energia legnagyobb része a felfogó tárgyban vált ki rezgést, más része az elpattanó jégszemek megváltozott irányú mozgási energiáját képezi, a maradék pedig a jégszemek strukturális változásaiban (törés, deformitás) hasznosul.

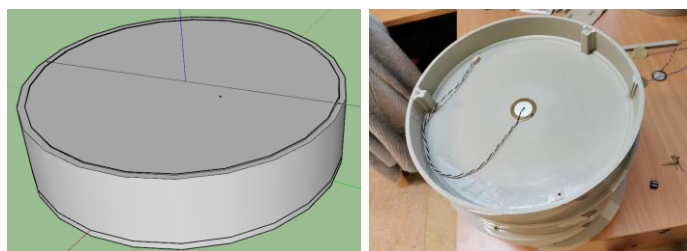
A becsapódás erősségét piezokristállal ellátott lemez akusztikai rezgéseinek mérésén keresztül igyekeztünk megbecsülni. Fontos, hogy a felfogó lemez ne hajoljon meg jelentősen a folyamat alatt, a kialakuló egyes móduszrezgések kis amplitúdóval és magasabb frekvenciakomponensekkel rendelkezzenek, emiatt a lemezvastagságot vastagabbra kell választani [6]. A mérőegységszerkezetét műanyagból alakítottuk ki, felül 5 mm -es polikarbonát fedéllel és polipropilén vázzal, 40 cm átmérőjű, hatszög alakkal. A piezokristályt a polikarbonát lemez belső felületére ragasztottuk epoxy gyantával. A szerkezethez egy ejtő-ütőszerszámot is kialakítottunk, mellyel különböző tömegeket, eltérő magasságokból ejtve pontszerű ütések szenzorjeleit állíthattuk elő, felvéve a felület érzékenységi térképét. Az első modell felfogó lemeze nagyobb becsapódásokra több millimétert is behajlott, a piezoelektromos szenzor hajlását, csavarását és öregedését okozva. A hatszögletű forma sajátos rezgései és feszültségviszonyai bonyolították az adatok kiértékelhetőségét: nagyobb, a felület mentén eltérő jellegű, lassan elhaló hullámok jelentek meg az akusztikus sáv alatt, illetve a felület különböző pontjain jelentősen eltérő karakterisztikák jelentkeztek. Mindezt figyelembe véve a szenzor kialakítását tovább módosítottuk:

- nagyobb szimmetriájú, hengerformát választottunk (4. ábra).
- a felső lemez vastagságát háromszorosára, átmérőjét felére változtattuk, így a szerkezeti hullámozás eltűnt, az eső zaja pedig meg sem jelenik. A teljes szerkezetet polipropilénből alakítottuk ki, így a szerkezet anyagi vonzatai kedvezőbbek lettek és lehetővé vált a hegesztéssel történő rögzítés is. A felső lemezt csak az alsó körvonal mentén rögzítettük, felül a perem és a palást között kis légrést hagytunk, hogy a fedél csak minimális, szerkezetileg szimmetrikusan kapcsolódhasson a palásthhoz.

Becsapódáskor a módosított fedélen egy időben exponenciálisan lecsengő, szinuszos jellegű, 100 Hz -körüli alapfrekvenciájú rezgésekép jelentkezik, mely a piezoelektromos szenzor feszültségjeleként mérhető (az érzékenység pedig immár körszimmetrikus).

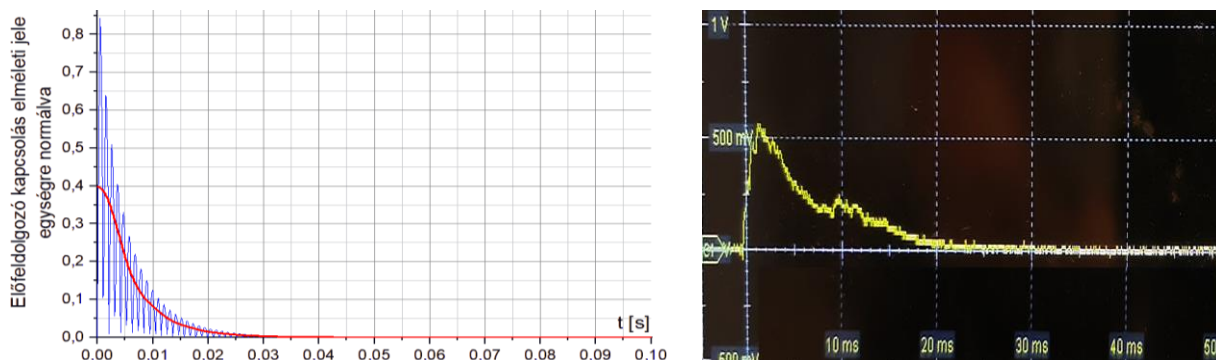


3. ábra. Jégszem elméleti- és illesztett végsebesség görbéi az átmérő függvényében [1-2]



4. ábra. Kör alakú drótvázmodell (a palást oszlopai nem érintik a lemezt)

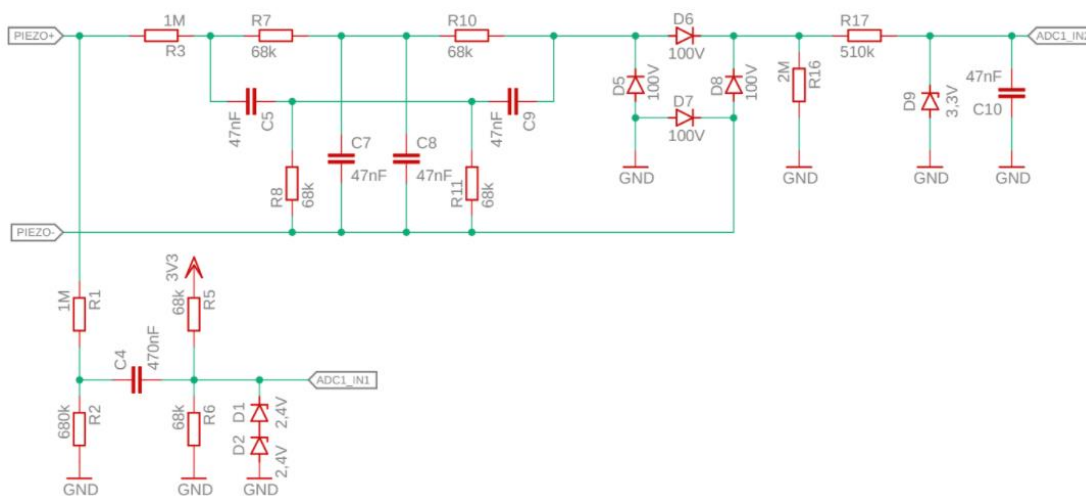
Egyszerű detektáló algoritmushoz, az ütésre adott válasz jelet egyenirányítottuk, majd megfelelő mértékű alul átteresztő szűréssel a magas frekvenciájú komponenseit eltávolítottuk.



5. ábra. Elméleti- és mért egyenirányított, megfelelően szűrt rezgésekép

Az egyenirányítás a jel alulfrekvenciáját duplázza, az elsőrendű szűrő alkalmazásához a legalacsonyabb frekvencia tizedrésze (10 Hz) alá választottuk a törésponti frekvenciát. A rendelkezésre álló komponensekkel ez 6.65 Hz adódott. Az 5. ábrán, a visszamért jelben a kisebb maximum az ütőszerszám visszakoppanásából ered (normál esetben a jég szem elpattan). Hasonló elképzelhető valós esetben is, de a kis dobméret, a nagy szemsebesség és a vélhetően nem pontosan merőleges beesés ritkává és a becsapódáshoz mérten jelentéktelenné teszi ezeket az ütésjeleket.

A detektálást beágyazott rendszer végzi korlátozott számítási teljesítménnyel és terepi eszközként minimális fogyasztásra is kell optimalizálni. Célszerű a jelet tehát a legegyszerűbben kezelhető formára hozni, lehetőleg teljesen passzív áramkörti elemekkel. E célból a 6. ábrán látható jelkezelő áramkört fejlesztettük ki, melyet maga a piezokristály aktív feszültségjele hajt meg.



6. ábra. A kifejlesztett passzív előszűrő áramkör.

Az áramkör két kimenettel rendelkezik, egy 50 Hz-es zavart is elnyomó csatornából, mely az előző funkciókat is megvalósítja (ADC1_IN2) és egy másikkól, mely a jel eredeti, kicsinyített, 0-1.6 V közé skálázott mását 1.6 V-os középértéket képviselő jelszintre helyezi (ADC1_IN1) - ezt akár az alulfrekvencia meghatározására is felhasználhatjuk.

Az ipari környezet egyik legjelentősebb elektromos szmogja az 50 Hz-es háttérkomponens és a nagyáramú, impulzusszerű kapcsolási zajok. A piezokristály nagy belső ellenállású, erre ezek a változások felrakodhatnak és a mérendő jel részévé válhatnak. Jelforrásként ugyan elegendően nagy jelet biztosít ahhoz, hogy a jelformában ez ne legyen zavaró, de a nulla jelszint értelmezését elbizonytalaníthatja. A szabadban elhelyezett terepi tárgyként ezek a hatások valószínűleg nem jelentősek, de közeli távvezetékek, elektromos vonalak, esetleg a vezetékcsatlakozás (éjszakai áramról való töltés, közvetlen táplálás) okán gondolnunk kell erre.

3. Szimuláció

A hatásos felületet vizsgálva, a dob középpontját alkotó, nagy jelű régióban a becsapódások kisebb gyakoriságúak, míg a nagyobb gyakoriságú, dob széléhez közeli sávban alig mérhető jel-forma lesz jellemző. Érdekes kérdés, hogy a legnagyobb eloszlású eseménycsoport szelektív lehet-e a becsapódás erősségét illetően – erre nagy számú számítógépes szimuláció segítségével kerestük a választ.

Az eszköz válaszjeleit és érzékenységét a dob sugara mentén térképeztük fel fizikai ütőszerszám segítségével (7. ábra). A várakozásoknak megfelelően a piezokristály feletti pont adta a legnagyobb válasz jelet, mely a szélek felé exponenciális jelleggel csökken, majd a hegesztést közelítve meredeken letörik.

A viselkedés nemlineáris, de látható, hogy eltérő erősségű becsapódásokra az R=4 - 10 cm tartomány érzékenységének változása jelentősen eltér.

A különböző erősségű ütések válaszaira illesztett parametrikus görbéket szoftveresen implementáltuk és egy virtuális szenzor válaszjeleiként alkalmaztuk.

A jégszemekről feltesszük, hogy egy szűk idő-sávban a hulló szemek intenzitás-nagyságának eloszlása kijelöl egy domináns központi értéket, azaz normális vagy közel normális eloszlású. A valós szenzoron az esőzaj alig mérhető, az elektromos zaj szintén elenyésző az impulzusokhoz képest, ennek ellenére a csúcsetektálást a fizikai jelből nyert kondicionált jelen (f_K , 8. ábra) végeztük, melynek értékei (5,6) szerint állítunk elő:

$$f_{Ki} = \frac{1}{2} (w_i \cdot f_{S_avg_i} + (1 - w_i) \cdot f_{L_avg_i}) \quad (5)$$

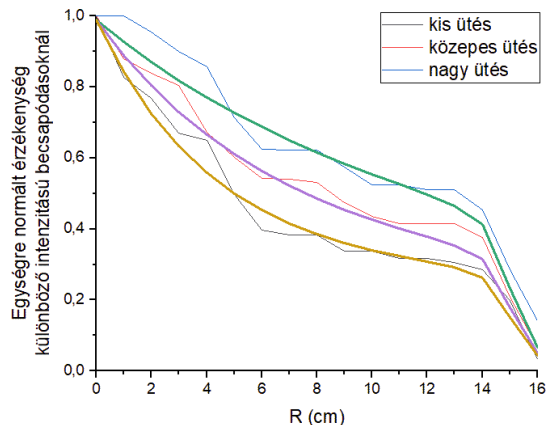
$$w_i = \begin{cases} \frac{f_{S_avg_i}}{f_{trsh}}, ha \frac{f_{S_avg_i}}{f_{trsh}} < 1 \\ 1, ha \frac{f_{S_avg_i}}{f_{trsh}} > 1 \end{cases} \quad (6)$$

$$NPC = \frac{f_{trsh}}{f_{pavg}} \quad (7)$$

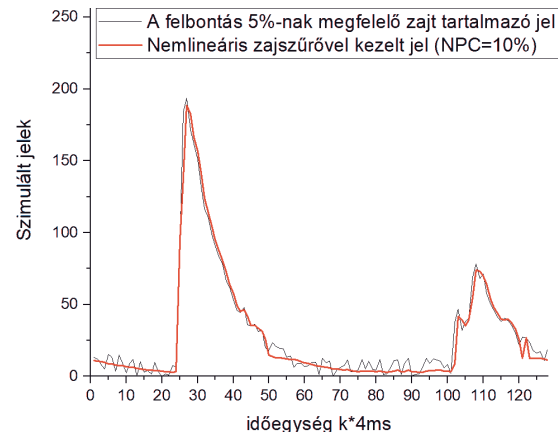
ahol f_{S_avg} kis-, f_{L_avg} nagy sugarú (2 ms és 20 ms) átlag, f_{trsh} - a korrekciós feszültségzaj szintje. A vizsgálatokhoz bevezettünk egy további jellemzőt is (7), mely az átlagos feszültségcsúcsokhoz (f_{pavg}) képest százalékos aránnyal jellemzi a korrekciós feszültségzaj szintjét.

A csúcskeresést három pontos detektáló szabályrendszerrel végezzük, minden pontban adott sugarú (10 ms) környezetet vizsgálva. Csúcsnak vettünk egy lokális maximumot, ha az adott sugarú környezet bal oldali végpontja a maximum értékének legfeljebb 20 %-a alá, a jobb oldali végpontja pedig legalább a 30 %-a fölé esik.

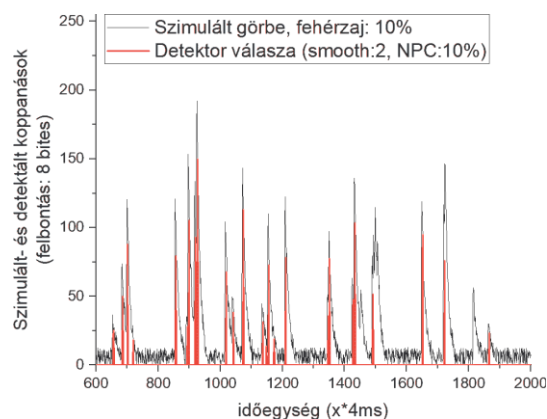
Az egyszerű szabály megbízhatóan azonosítja a szimulált becsapódásokat (98%), a kihagyott esetek inkább a kisebb intenzitásúak közül valók, a maximum jel-forma 10%-ának megfelelő additív fehérzaj mellett (9. ábra). A fizikai modell tapasztalt zajtartalma mindössze 1-2%, így ezt a paraméterezést megfelelőnek tekintettük.



7. ábra. Dobfelület relatív érzékenysége

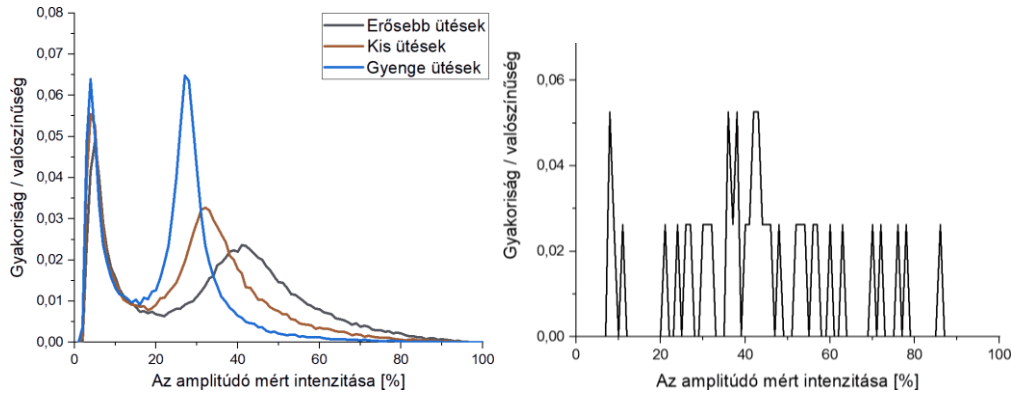


8. ábra. A kondicionálás hatása a jel zajtartalmára.



9. ábra. A detektor válasza 10% hozzáadott zajjal

A becsapódások gyakoriságát az egyes intenzitások függvényében vettük fel, több tízezer virtuális becsapódást szimulálva számítógépen, különböző domináns intenzitások mellett. Kaptuk, hogy a leggyengébb intenzitás-gyakoriság figyelmen kívül hagyásával az eloszlások alapján a jég-eső intenzitása megkülönböztethető már egészen kevés becsapódás esetén is (10. ábra). Az elkülönülő intenzitásmaximum körüli gyakoriságok súlyait figyelembe véve pontosítható az átlagos becsapódási energia, ami az eszköz kalibrációja után alkalmassá tehető az egymást követő eltérő intenzitású jégesőhullámok megkülönböztetésére is.



10. ábra. A szimulált becsapódások gyakorisága az intenzitás függvényében nagyszámú és ritka (20 darab) erősebb becsapódás esetén

Az IoT eszközök nagy részében támogatott az ultraalacsony fogyasztási állapot, melyet a rövidebb idejű időszakos mérés szakíthat meg. Az STM32G431 ARM mikrovezérlő rendelkezik ezzel a mélyaltatás funkcióval, emellett az analóg bemeneteit nagyimpedanciás üzemmódba lehet kapcsolni, lehetővé téve a passzív áramkör jelének megfelelő értelmezését.

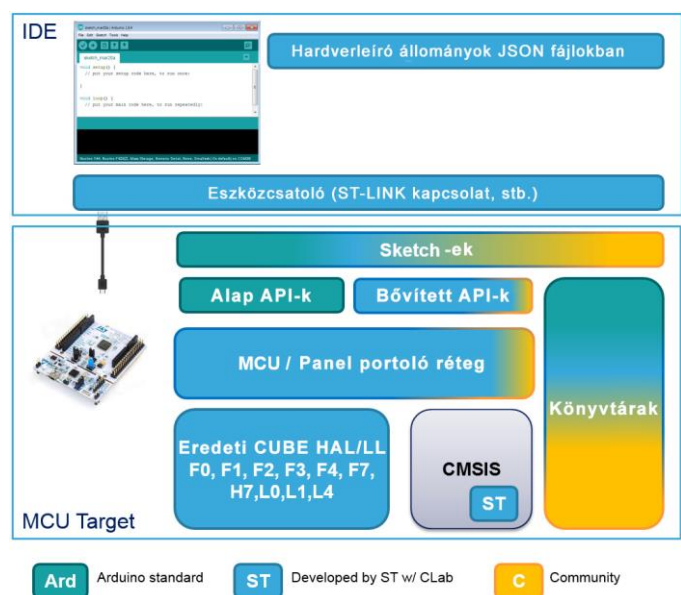
Az energiatakarékos üzemmód kétféleképp érhető el: adott időközönként a mikrovezérlő feléled és mérést végez egy adott ideig, illetve, ha a jel egy komparátor-bemenetre is eljut, ahol a jelszint megjelenése hardveresen képes a mikrovezérlőt aktív üzemmódba kapcsolni.

Az első végeredményben tisztán szoftveres megoldás, melyet a legegyszerűbben a *Shutdown*-móddal érhetünk el, ami nagyjából 15 nA fogyasztást jelent a készenléti módban, de gyakori, rendszeres mérést is végezni fogunk. A másik esetben egy indikátor jelet is szükséges az egyik erre kijelölt lábra vezetni és működtetni kell a komparátor köröket a STOP0 (155 μ A) vagy STOP1 (46 μ A) módokban, ugyanakkor kikapcsolható az RTC.

Megvalósításunkban a hardveres és szoftveres megoldást is lehetővé tettük, a későbbi esetlegesen változó igényeknek megfelelően. Mérés esetén, azaz mindkét esetben a következő módokat és fogyasztásokat lehet használni [8]:

RUN (Range1b) – 170 MHz, 173 μ A/MHz,
RUN (Range1) – 50 MHz, 163 μ A/MHz,
RUN (Range2) - 26 MHz, 128 μ A/MHz,
Kis teljesítményű mód:
(SRAM1-ből) - 2 MHz, 183 μ A/MHz.

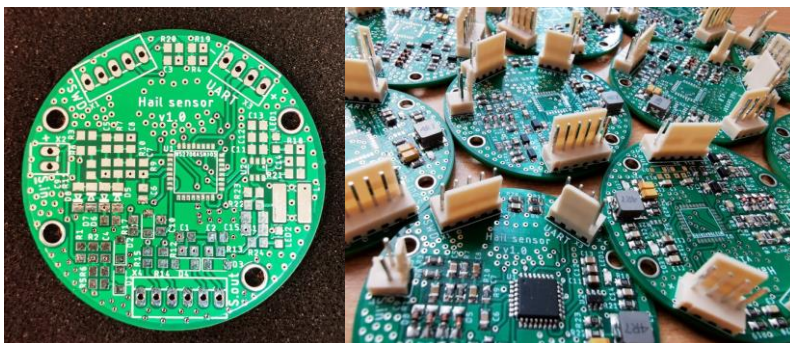
A típushoz rendelkezésre áll Arduino-kompatibilis szoftveres réteg is (11. ábra), ami alapján az alkalmazásokat egyszerűen, magas szintű környezetben lehet C nyelven fejleszteni, mégis elérhetővé téve hardverközeli funkciókat.



11. ábra. Arduino réteg a CUBE HAL felett

4. Eredmények

Munkánkban egy jégesőszenzor (12. ábra) fejlesztését mutattuk be, kiemelve egy módosított detektorfej szimulációját, melyen a csúcsetektor algoritmust teszteltük. A válaszjel és a nemlineáris érzékenység együttesen olyan intenzitáseloszlást eredményez, mely jelentősebb intenzitások esetén eltérő helyen alakít ki maximumot a statisztikában, így az intenzitás mértéke kalibrációt követően becsülhető, annak időtartama, sűrűsége mérhető és az okozott kár mértékére becslés tehető.



12. ábra. Az elkészült detektor áramkör

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük az Agrodat Szolgáltató Kft-nek, hogy kutatási partnerként jegyzett minket:

„ Az Agrodat Szolgáltató Kft. meteorológiai állomások és talajszondák telepítésével és - az országban egyedülként - üzemeltetésével foglalkozik. Agrodat-szolgáltatás része lehet betegségrejelzés, valamint hiperlokális időjárás előrejelzés is.

Célunk minden olyan gazdaság széleskörű ellátása, amelyeket bármilyen formában befolyásolhatnak az időjárási körülmények. A folyamatos fejlődés egyik kulcs lépcsőfoka az innovációk támogatása és integrálása, ezért cégünk partnerként vett részt ebben a fejlesztésben. A jégeső súlyossága a termelők számára nem lehet ismeretlen, ahogy az sem, milyen nehéz előre jelezni és milyen hirtelen támadhat.

Kártételének minimalizálása a megelőzésen alapul, ezért mi, az Agrodatnál hiszünk a fejlesztés fontosságában és sikerességében!

További információ az Agrodatról: <https://agrodat.hu>,

<https://www.facebook.com/agrodatszolgaltatokft> „.

Irodalomjegyzék

- [1] Kapsch, M. L., M. Kunz, R. Vitolo, und T. Economou: Long-term variability of hail-related weather types in an ensemble of regional climate models, 2012, 117, D15107, DOI:10.1029/2011JD017185
- [2] Kunz, M., J. Sander, und C. Kottmeier: Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany, Int. J. Climatol., 2009, Vol. 29, pp. 2283 – 2297, DOI: 10.3233/JIFS-169875
- [3] Kunz, M., M. Puskeiler: High-resolution assessment of the hail hazard over complex terrain from radar and insurance data, Meteor. Z., 2010, Vol. 19, pp. 427-439, DOI 10.1127/0941-2948/2010/0452
- [4] Nancy, C. Knight, Andrew J. Haymsfield: Measurement and Interpretation of Hailstone Density and Terminal Velocity, 1983, Vol. 40, pp. 1510-1516., DOI: 10.1175/1520-0469(1983)040<1510:MAIOHD>2.0.CO2
- [5] Andrew J. Haymsfield, Miklós Szakáll, Alexander Jost, Ian Giammanco, Robert Wright: A Comprehensive Observational Study of Graupel and Hail Terminal Velocity, Mass Flux, and Kinetic Energy, 2018, Journal of the Atmospheric Sciences, Vol. 75, Iss. 11, pp. 3861-3885., DOI: 10.1175/JAS-D-18-0035.1
- [6] C.Y. Wang and C.M. Wang: Structural vibration. CRC Press Taylor & Francis Group, ISBN: 978-1-4665-7685-8
- [7] Löffler-Mang, M., D. Schön, und M. Landry: Characteristics of a new automatic hail recorder, Atmos. Res., 100, 439–446.

- [8] ST Microelectronics, Web: https://www.st.com/content/ccc/resource/training/technical/product_training/group0/6b/c0/83/c7/b9/05/4b/0b/STM32G4-System-Power_control_PWR/files/STM32G4-System-Power_control_PWR.pdf/jcr:content/translations/en.STM32G4-System-Power_control_PWR.pdf