CloudFuzzy: Předpověď počasí pomocí fuzzy logiky

Bc. Jan Sakač

Faculty of Informatics and Management

University of Hradec Kralove,

Hradec Kralove, Czech Republic

sakacja1@uhk.cz

*Abstract* — Tento článek popisuje vývoj a implementaci fuzzy inferenčního systému pro předpověď teploty, který je vytvořen v prostředí programu MATLAB. Běžné metody předpovědi počasí často nedosahují kvalitních výsledků, neboť jejich algoritmy musí počítat s velkým množstvím neurčitých a nepřesných dat, pro které vznikají kvantitativní chyby v předpovědích počasí. Cílem projektu CloudFuzzy je implementovat co možná nejlepší model s využitím fuzzy logiky, který bude dosahovat kvalitních výsledků v předpovědi počasí, vzhledem s daným údajům. Následně se model podrobí optimalizačním algoritmům, které spolu s tréninkem na dostupných datech přinesou ještě kvalitnější předpověď teploty.

Keywords-Předpověď teptloty, Fuzzy logika, FIS, MATLAB

# Introduction/úvod

Předpovědi hrají důležité role v našich každodenních životech, a existuje jich celá řada od předpovědích na akciovém trhu, určování zemětřesení, předpovědi dopravního proudu, až po předpovědi počasí. Co nejlepší a nejpřesnější předpověď může pomoct zvýšit zisky nebo zabránit škodám z nadcházejících katastrof, jako je ekonomická recese, společenské problémy, dopravní zácpy, nebo bouře a tajfuny [1].

Předpověď počasí je v současnosti zásadní a významná oblast v matematické sféře. Počasí každoročně ovlivňuje miliony lidí po celém světě a v důsledku globálního oteplování se toto číslo může ještě zvětšit. Každoročně zemře nebo je vyhnáno mnoho lidé v důsledků nepředvídatelného počasí. V dřívějších dobách byla předpověď počasí zaměřena na podporu obyvatelstva proti přírodním katastrofám. Předpověď počasí na celém světě je důležitá a zároveň náročná funkční odpovědnost schválená meteorologickými zařízeními. Předpovídáním počasí za pomoci podmínek příčina (Když) a následek (Pak), které vykazují nepřesnost a nejistotu, jsou ošetřeny rozumnými a účinnými algoritmy [2].

Pro předpověď počasí se využívají rozsáhlá data založená na pozorování, která trvající celá desetiletí. Předpovídání počasí je stochastická procedura, jejíž nadcházející událost je závislá na mnoha jiných faktorech, a to například od denní doby, ročního období, nadmořské výšky, větru až po vlhkost vzduchu. Nepředvídatelnost počasí a klimatických aspektů, zejména těch atmosférických, je hlavním důvodem nepřesných předpovědí počasí. *Pokud by bylo možné zdokumentovat model nepředvídatelnosti a použít jej pro budoucí cestu, proveditelnost předpovědi denních srážek je velmi možná* [3].

How reliable are weather forecasts?
https://www.indiatoday.in/science/story/why-imd-can-t-predict-weather-like-us-europe-what-are-the-roadblocks-1976001-2022-07-15 


Obr. 1: Spolehlivost předpovědí počasí v Indii [4]

Koncept fuzzy logiky je obdobou vnímání emocí člověka a interpretačních procesů. Na rozdíl od klasické logiky klasické logiky, která je řízená z bodu do bodu, je řídící systém fuzzy logiky řízen typem rozsah do bodu nebo z rozsahu do rozsahu. Koncept fuzzy logiky byl představen matematikem Zadahem v roce 1965 [5]. Fuzzy logika je určena k posílení metod uvažování, které jsou spíše odhadované než zcela přesné. V posledních letech byly prezentovány některé předpovědní metody založené na fuzzy pravidlech, které budou představeny dále.

Systémy založené na fuzzy pravidlech mají problémy s pokrytím celého řešeného problému. Fuzzy pravidla v systémech založených na pravidlech jsou obvykle omezena na určitou množinu vstupních proměnných s další množinou výstupních proměnných a fuzzy lingvistickými termíny. V každé kombinaci vstupních pravidel je potřeba definovat fuzzy pravidla spolu s výstupními proměnnými, kde se báze pravidel exponenciálně rozrůstá s počtem vstupních proměnných.

Aby se tedy zvýšila účinnost systémů založených na fuzzy pravidlech s větší množinou proměnných, ať už vstupních nebo výstupních, je nutné snižovat bázi pravidel, zachovat základní pravidla, a využít další dostupné funkce, aby se zabránilo způsobení nedostatečného pokrytí pravidlového systému v řešeném problému. Je tedy nutné najít rovnováhu mezi množstvím pravidel a rozsahem systému pro optimální fungování fuzzy pravidlového systému pro předpověď počasí [2].

Cílem tohoto projektu proto bude navrhnout vlastní řešení fuzzy inferenčního systému (FIS) a vytvoření fuzzy modelu pro vytvoření optimálního modelu schopného předpovědět teplotu na základě hlavních údajů o počasí, jako je denní doba, roční období, nadmořské výšky, větru a vlhkost vzduchu. V druhé části práce bude následně za cíl vytvořit optimalizační algoritmy, které budou natrénované na dostupných datech o počasí. V poslední části bude za cíl porovnat vlastní FIS model s optimalizovaným FIS model.

# Problem Definition/ Definice problému

Jak již bylo zmíněno, zadáním této práce je navrhnout a implementovat fuzzy inferenční systém nad programem MATLAB. V oblasti meteorologie je přesná předpověď naprosto klíčová, ale její výsledky silně a rychle ovlivňují rychle se měnící klimatické podmínky. Danou problematiku řeší již několik dostupných řešení. V této části budou nejprve představeny práce na modelování předpovědi počasí pomocí různých metod a následně bude diskutovaná práce související s fuzzy inferenčním systémem pro aplikaci v oblasti meteorologie.

V odborné práci [6] autoři navrhli počítačové modely předpovědi počasí založené na hodnotě teploty pomocí neuronových sítí a fuzzy logiky. Hlavním účelem této studie bylo vyvinout různé modely předpovědi počasí založené na dvou technikách, a to započítaný nesoulad a absolutní chyby pro předpovídání prognózy. Vyvinuté modely ukázali, že cíle studie bylo úspěšně dosaženo. Nakonec byly modely testovány a výsledky potvrdily, že navržené modely byli schopny předpovídat denní teploty.

V odborném článku [7] studovali schopnosti fuzzy pravidel při modelování srážek v jihozápadní Africe. Vyvinutý model fuzzy logiky se skládal ze dvou funkčních komponentů, znalostní báze a jednotky fuzzy uvažování nebo rozhodování. Předpokládané výstupy modelu byly porovnány se skutečnými údaji o srážkách. Výsledky simulace ukazují, že předpokládané výsledky jsou v dobré shodě s naměřenými daty. Byla vypočtena chyba predikce, střední kvadratická chyba (RMSE), střední absolutní chyba (MAE) a přesnost predikce. Na základě získaných výsledků šlo konstatovat, že fuzzy metodologie je schopna efektivně zpracovávat rozptýlená data. Vyvinutý model založený na fuzzy pravidlech ukázal flexibilitu a schopnost modelovat špatně definovaný vztah mezi vstupními a výstupními proměnnými.

V tomto článku [8] navrhli model předpovědi počasí založený na neuronové síti a fuzzy inferenčním systému typu NFIS-WPM a následně jej aplikovali na predikci denních srážek v meteorologické stanici pro testování ve skutečných podmínkách. Výsledný model byl složen ze dvou částí, a to neuronové sítě založené na fuzzy pravidlech a z neuronového FIS, který byl založen na první části, ale díky neuronové síti se mohl naučit nová fuzzy pravidla než na začátku algoritmu. Postupnou adaptací tohoto modelu na skutečných a aktuálních datech se zpřesnily výsledky předpovědi, a dosahovali vyšších přesností s nižšími náklady než obdobný numerický předpovědní model.

V odborném článku [9] se pokusili vytvořit systém, který dokáže předvídat změny počasí za pomocí fuzzy logiky. Dali si za cíl predikovat v systému místo a čas změny. K komu využili dvě fuzzy metody Mamdani a Sugeno s kritériemi teploty vzduchu, vlhkosti a tlaku. Výsledky dosahovali 73,34 % pro metodu Mamdani a 70 % pro metodu Sugeno.

V dalším článku [10] se výzkumníci pokusili nasimulovat a designovat „smart“ prádelní šňůru s predikcí věšení prádla dle aktuálního počasí. K komu využívají surová data z předpovědi počasí, která následně předávají fuzzy inferenčnímu systému. Systém je v prostředí MATLAB a využívají k tomu vlastní senzorová čidla. Výsledky z této studie lze použít pro řízení motorů, ohřívačů, a dalších.

V akademickém článku o solární energii [11] byl proveden zajímavý pokus o vytvoření solárního vařiče s regulací teploty vzhledem ke slunečním podmínkám. Pro řešení teplotních složek byl vyzkoušen Laplaciánský přístup a výsledky jsou porovnány s experimentálními pozorováními zjištěním hodnot RMSE a R2. Z řešení byla provedena fuzzifikace pro odvození fuzzy pravidel ovlivňujících tepelný výkon vařiče.

Všechny výše uvedené jsou zajímavé a také kombinují různé druhy řešení, které přinášejí slibné výsledky. Bohužel ale poskytnutá řešení se v mnohém liší od základního požadavku, kterým je přesná teplota, a tudíž nevystihují řešený problém. Pro tento účel jsou zmíněná řešení nevhodná, přitom přesná a spolehlivá předpověď teploty je ten nejdůležitější údaj, který bude uživatele nejdříve zajímat. Určitý nedostatkem v daných prací je ten, že po vytvoření modelů či řešení se už dále počítá s úpravami a optimalizacemi. Tím se vlastně ubírá důležitý prvek vzhledem s požadovaným cílům. K docílení tohoto účelu spolehlivé predikce teploty se bude psát v následující kapitole III. Nové řešení.

# New Solution / nové řešení

V předešlé kapitole byl definován problém, který bude zde zkoumán, a nyní bude detailně popsán. Cílem projektu je vytvořit FIS model, který bude spolehlivě a přesně predikovat teplotu vzduchu v předem známé lokalitě. V současné době je na trhu celá řada modelů predikce pro počasí, ale žádný z těchto modelů není dokonalý a také mají svá omezení. Výsledem tohoto řešení je docílit lepší přesnosti něž zmíněné modely.

Návrh teoretického modelu a jeho následná implementace samozřejmě zásadní pro předpověď počasí, ale takto vytvořené modely se ve většině případů nasadí do systému a jejich následná kalibrace je ve většině případů je jenom ruční úprava parametrů. Takové způsoby vytváření projektů nemůžou dosáhnout plného potenciálu a modely se tím pádem stávají chybové.

Vzhledem k povaze řešeného projektu je nejdůležitějším krokem výběr spolehlivého systému, který bude poskytovat fuzzy logiku. Existuje řada vhodných implementací, které poskytují požadované systémy pro fuzzy logiku s množstvím parametrů.

Předpovědi počasí podléhají nejistotám, které mají vliv na stav a schopnosti systémů. Tradiční metody se nemohou vypořádat s prognostickými problémy, ve kterých jsou historická data reprezentována lingvistickými hodnotami (např. horké, normální, studené). K tomu je vhodné využití fuzzy logiky, která má podobnou logiku uvažování jako lidé.

V řešení je navržen model pro předpověď teploty k vyřešení výše uvedených problémů. Model je navržený pomocí vhodné architektury fuzzy pravidel na základě odborných znalostech a také na základě pozorování dat o počasí ze zdrojového datasetu. Vše je podřízeno k tomu, aby model bych co možná nejpřesnější a fuzzy logika byla maximálně využitá správným směrem.

Po vytvoření a implementaci vhodného modelu budou využité další nástroje k dalšímu zpřesnění předpovědi. Konktrétně se jedná o využití metod k optimalizaci. V rámci využitého programu se jedná o metody subtraktivního clusterování a metodu trénování ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System).

Algoritmus subtraktivního shlukování je důležitá metoda, která se používá k automatickému identifikování shluků (clusterů) v datech. Tato metoda je umožňuje automatický výběr pravidel, takže se ve fuzzy systémech automaticky zvolí nejvhodnější pravidla. Obecně se také subtraktivní clusterování používá v expertních systémech pro svou schopnost automaticky generovat vyladěné funkce v rámci znalostní domény [12].

ANFIS neboli Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System je konstruovaná vstupně-výstupní síť založená na hybridním způsobu učení v rámci adaptivních sítí. Hybridní, neboť výsledek je založený jak na lidských znalostech (podobně jako fuzzy pravidla na principu Když – Pak), tak také na stanovených skupin v modelu a vstupně-výstupních dat. V rámci její architektury je možné použít ANFIS k modelování nelineárních funkcí, on-line identifikaci nelineárních komponent v řídicím systému a predikci chaotických časových řad. V kontextu ANFIS je často zmiňováno, že se dají použít jako určitá varianta vůči neuronovým sítím a samotné fuzzy logice. ANFIS dále poskytuje slibné výsledky pro její aplikování v rámci automatického řízení, zpracování signálů a dalších [13].

Praktický projekt se bude skládat ze dvou částí, cílem první části bude vytvořit vlastní funkční FIS nad platformou MATLAB. FIS model bude obsahovat řadu vstupních parametrů a jeden výstupní parametr. Následně bude na řadě druhá část, optimalizační metody, které budou mít za úkol vylepšit model z první části. Původní model, optimalizační metody pomocí subtraktivní clusterování a ANFIS se následně porovnají a vytvoří nový model s nejlepšími výsledky.

# Implementation / Implementace řešení

Pro řešení problému je projekt zpracováván v prostředí MATLAB R18a spolu s rozšířením Fuzzy Logic Toolbox od společnosti MATLAB. Využití jejích nástrojů výrazně zjednoduší vývoj modelu a zaručí správnost všech výpočtů.

Celý systém se bude skládat z těchto následujících částí:

1. Spouštěcí script modelu a následné optimalizace
2. FIS model
3. Optimalizační script s metodou subtraktivního clusterování
4. Optimalizační script s metodou trénování pomocí ANFIS
5. Optimalizovaný FIS model
6. Porovnávací script optimalizačních funkcí
7. Samostatný script predikující výslednou teplotu z optimalizovaného FIS modelu

Obsah obrázku text, snímek obrazovky, dokument, Písmo

Popis byl vytvořen automaticky

Obr.2: Popis algoritmu projektu dle LaTeX, Zdroj vlastní

Samotný FIS model obsahuje pět vstupních parametrů a jeden výstupný parametr. Vstupy byly denní doba, rok, výška nad mořem (MnM), rychlost větru a vlhkost, zatímco výstup byl teplota. Pro každou vstupní proměnnou byly definovány fuzzy množiny a rozsahy hodnot. Dalším krokem ve vytváření FIS modelu je nastavení pravidel. Pravidla byla definována jako kombinace různých vstupních proměnných a jejich fuzzy množin. Pravidla byla formulována na základě odborných znalostí a zkušeností v oboru meteorologie, s přihlédnutím na hodnoty z datasetu, který obsahoval informace o vstupních proměnných a skutečné teplotě. Data jsou načtena do MATLABu pomocí tabulky a rozdělena na tréninková a testovací data. FIS model je dále trénován na tréninkových datech pomocí dvou optimalizačních technik. Následně proběhne vyhodnocení obou vytvořených modelů a jejich porovnání, kde model s lepšími výsledky bude následně zapsán do nového FIS souboru „BestOptimalCloudFuzzyFIS.fis“.

Funkce „optimal1“ kombinuje metody fuzzy logiky a strojového učení pomocí metody subtraktivního clusterování schopného předvídat teplotu s vyšší přesností. Implementace této metody je důležitým krokem ve vytváření vylepšeného FIS modelu v projektu. Následně se provádí trénování modelu pomocí ANFIS s nastavením 100 epoch. Vyhodnocení funkce „optimal1“ je pomocí metriky v Mean Squared Error (MSE), která je použita jako hlavní vyhodnocovací metoda v celém projektu.

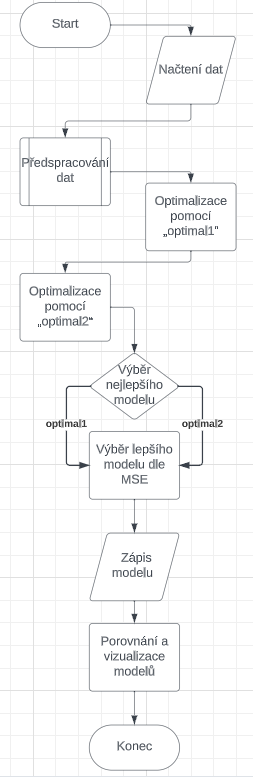
Funkce „optimal2“ podobně jako „optimal1“ načítá vytvořený FIS model, rozděluje a připravuje data (70:30). Jeho hlavní předností je pokročile použití metody ANFIS, tzv. že „optimal2“ obsahuje krok pro výpočet původního MSE před optimalizací, a tím poskytuje porovnání výkonosti před optimalizací. Dále také nastavuje rozsah vstupních proměnných. Díky tomu může model vlastně dosahovat jemnější ladění a také dosahovat přesnějších výsledků.

Po skončení „optimal1“ a „optimal2“ se na řadu dostává porovnání obou metod na základě již dříve zmíněného MSE na základě kterého se vybere lepší model. Ten je následně zapsán pod názvem „BestOptimalCloudFuzzyFIS.fis“. Tímto okamžikem je optimalizovaný FIS model dostupný k zodpovězení dotazů na předpověď teploty.

Dalším krokem je spuštění scriptu „compareModel.m“.

Tento skript je velmi důležitý pro vizuální a kvantitativní zhodnocení výsledků obou optimalizačních metod. Umožňuje vám nejen vidět, který model předpovídá teplotu lépe v testovací sadě, ale také poskytuje užitečnou zpětnou vazbu pro další iterace a vylepšení modelů. Výsledky vizualizace mohou také pomoci identifikovat oblasti, kde by jeden model mohl být nadřazen druhému, například v přesnosti nebo spolehlivosti předpovědí v určitých teplotních rozmezích nebo podmínkách.

*Jako poslední je vytvořen skript, který se ptá na vstupní hodnoty a vrací předpovězenou teplotu z vybraného a vytrénovaného modelu. Uživatelé tak mohou jednoduše zadat vstupní hodnoty a získat předpověď teploty.*



Obr.3: Flowchart FIS modelu, Zdroj vlastní

# Testing of Developed application / testování vyvinuté aplikace - řešení

**OBSAH**

Zde musí být definice, jak bude testováno a co má být přesně výsledkem.

Vlastní testování a výsledky formou tabulek budou v podkapitole

Zhodnocení výsledků testování je nejlépe slovně (zhodnocení předchozích tabulek) a pak jedna tabulka s přehledem řešení od jiných autorů s tím novým řešením (mělo by se ukázat, že to nové řešení je nejlepší)

**ROZSAH**

Rozsah je 1strana.

*Validace modelu je zásadní pro posouzení jeho schopnosti správně předpovědět teplotu na základě vstupních proměnných. Během tohoto procesu byl vytrénovaný model porovnáván s testovacími daty, která nebyla součástí tréninkového datasetu, aby byla ověřena jeho schopnost zobecňování. Vyhodnocení modelu: Výkon modelu je hodnocen na základě metriky Mean Squared Error (MSE), která je běžně používaná metrika pro regresní problémy. MSE kvantifikuje rozdíl mezi skutečnou a předpovězenou teplotou a poskytuje jednoduchý způsob, jak posoudit, jak dobře se model učí z tréninkových dat a jak dobře generalizuje na nová data. Porovnání optimalizačních modelů: Byly porovnány dva různé modely, které byly trénovány pomocí dvou různých optimalizačních technik (optimal1 a optimal2). Na základě hodnot MSE pro každý model na testovacích datech byl vybrán lepší model. Model s nižším MSE byl považován za lepší a byl použit pro predikci teploty.*

# Conclusions / závěry

Fuzzy logika se v poslední době těší velké obliby, která se na ní vznesla společně s rozmachem neuronových sítí. Fuzzy logika nabízí jednoduší implementaci než u neuronových sítí, ale narozdíl od ní je její zájem spíše akademický. Ve vědeckém světě se zatím neprování přímá implementace do praktických systémů a řešení. I přes tento fakt, fuzzy logika má velký potenciál, ať už samo o sobě, nebo s využitím dalších technologií, jako je neuro-fuzzy řešení, které se těší velmi slibných výsledků. V průběhu tohoto projektu byl úspěšně vytvořen a natrénován fuzzy logický model pro předpověď teploty na základě různých vstupních proměnných. Model byl postaven s využitím nástrojů a funkcí MATLAB a Fuzzy Logic Toolboxu, které umožňují snadnou implementaci a ladění fuzzy systémů. Důležitým aspektem projektu byla validace modelu a zhodnocení jeho výkonu. Model byl testován na reálných datech, a výsledky ukázaly, že je schopen předpovídat teplotu s určitou mírou chyby. V konečném důsledku tento projekt představuje příklad užitečného využití fuzzy logiky pro modelování a řešení složitých problémů, které zahrnují nejistotu a nepřesnost. Ukazuje, jak fuzzy logické metody mohou poskytnout praktické a účinné řešení v různých oblastech a aplikacích.

##### References / Reference

1. CHANG, Yu-Chuan a Shyi-Ming CHEN. Temperature prediction based on fuzzy clustering and fuzzy rules interpolation techniques. In: 2009 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics [online]. IEEE, 2009, s. 3444-3449 [cit. 2023-11-15]. ISBN 978-1-4244-2793-2. Dostupné z: doi:10.1109/ICSMC.2009.5346229
2. JANARTHANAN, R., R. BALAMURALI, A. ANNAPOORANI a V. VIMALA. Prediction of rainfall using fuzzy logic. Materials Today: Proceedings [online]. 2021, 37, 959-963 [cit. 2023-11-15]. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2020.06.179
3. ALDRIAN, Edvin a Yudha Setiawan DJAMI. APPLICATION OF MULTIVARIATE ANFIS FOR DAILY RAINFALL PREDICTION: INFLUENCES OF TRAINING DATA SIZE. MAKARA of Science Series [online]. 2010, 2010-10-14, 12(1) [cit. 2023-11-15]. ISSN 1693-6671. Dostupné z: doi:10.7454/mss.v12i1.320
4. How reliable are weather forecasts? In: KUNAL, Kumar. INDIA TODAY [online]. 2022 [cit. 2023-11-15]. Dostupné z: https://www.indiatoday.in/science/story/why-imd-can-t-predict-weather-like-us-europe-what-are-the-roadblocks-1976001-2022-07-15
5. MAMDANI, E.H. a S. ASSILIAN. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies [online]. 1975, 7(1), 1-13 [cit. 2023-11-15]. ISSN 00207373. Dostupné z: doi:10.1016/S0020-7373(75)80002-2
6. AL-MATARNEH, L., A. SHETA, S. BANI-AHMAD, J. ALSHAER a I. AL-OQILY. Development of Temperature-based Weather Forecasting Models Using Neural Networks and Fuzzy Logic. International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering [online]. 2014, 2014-12-31, 9(12), 343-366 [cit. 2023-11-16]. ISSN 19750080. Dostupné z: doi:10.14257/ijmue.2014.9.12.31
7. AGBOOLA, A.J., E.O. ALIYU a ALESE. Development of a Fuzzy Logic Based Rainfall Prediction Model. International Journal of Engineering & Technology [online]. 5 [cit. 2023-11-16]. ISSN 2049-3444. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/285799840\_Development\_of\_a\_fuzzy\_logic\_based\_rainfall\_prediction\_model
8. LU, Jing, Shengjun XUE, Xiakun ZHANG, Shuyu ZHANG a Wanshun LU. Neural Fuzzy Inference System-Based Weather Prediction Model and Its Precipitation Predicting Experiment. Atmosphere [online]. 2014, 5(4), 788-805 [cit. 2023-11-16]. ISSN 2073-4433. Dostupné z: doi:10.3390/atmos5040788
9. SETYANUGRAHA, Noval, Sofyan AL AZIZ, Iis Widya HARMOKO a Fianti FIANTI. Study of a Weather Prediction System Based on Fuzzy Logic Using Mamdani and Sugeno Methods. Physics Communication [online]. 2022, 2022-11-30, 6(2), 61-70 [cit. 2023-11-16]. ISSN 2528-598X. Dostupné z: doi:10.15294/physcomm.v6i2.39703
10. ANDRASTO, T, MUSAROPAH, HARYONO, T JOKO a KARDOYO. Simulation and design of smart clothesline using fuzzy for weather forecast. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science [online]. 2022, 2022-01-01, 969(1) [cit. 2023-11-19]. ISSN 1755-1307. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/969/1/012058
11. BHAVANI, S., V. CHITHAMBARAM, R. MUTHUCUMARASWAMY, S. SHANMUGAN, F.A. ESSA, Ammar H. ELSHEIKH, P. SELVARAJU a B. JANARTHANAN. Laplacian tactic for the prediction of the temperature components of solar cooker with logical prediction by fuzzy rules. Solar Energy [online]. 2022, 236, 369-382 [cit. 2023-11-16]. ISSN 0038092X. Dostupné z: doi:10.1016/j.solener.2022.03.006
12. RAO, U. Mohan; SOOD, Y.R. a JARIAL, R.K. Subtractive Clustering Fuzzy Expert System for Engineering Applications. Online. Procedia Computer Science. 2015, roč. 48, s. 77-83. ISSN 18770509. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.153. [cit. 2023-11-23].
13. JANG, J.-S.R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. Online. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Roč. 23, č. 3, s. 665-685. ISSN 00189472. Dostupné z: https://doi.org/10.1109/21.256541. [cit. 2023-11-28].