

VPLYVY ZMENY KLÍMY NA VYUŽÍVANIE HYDROENERGETICKÉ POTENCIÁLU VO VYBRANÝCH POVODIACH NA SLOVENSKU

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE TO USE THE HYDROPOWER POTENTIAL IN THE
SELECTED RIVER BASINS IN SLOVAKIA

Mgr. Peter Rončák, PhD., Ing. Ján Rumann, PhD., prof. Ing. Kamila Hlavčová, prof.
Ing. Ján Szolgay, PhD.

ABSTRAKT

Článok sa zaoberá hodnotením vplyvu zmeny klímy na využívanie hydroenergetického potenciálu vo vybraných povodiach na území Slovenska. Základným ukazovateľom potenciálu využitia vodnej energie je výpočet tzv. hydroenergetického potenciálu (HEP). Zmenené klimatické podmienky charakterizované najmä zmenami zrážok, potenciálnou evapotranspiráciou a teplotou vzduchu v budúcich desaťročiach boli predpovedané podľa najnovších výstupov z dvoch regionálnych modelov klimatických zmien KNMI a MPI a podľa emisného scenára A1B. Na určenie zmien dlhodobého priemerného mesačného odtoku v porovnaní medzi referenčným obdobím 1981-2010 a budúcimi časovými horizontami sme použili fyzikálne založený zrážkovo-odtokový model WetSpa. Na základe prognóz klimatických zmien podľa dvoch spomínaných scenárov výsledky naznačujú, že vplyvy zmeny klímy v budúcnosti môžu viesť k poklesu hydroenergetického potenciálu.

Kľúčová slova: hydroenergetický potenciál, model WetSpa, klimatická zmena

ABSTRACT

The article deals with an assessment of the impact of climate change on the hydropower potential in the selected river basins in Slovakia. The basic indicator of the potential for water energy utilization is the calculation of the so called hydropower potential (HPP). Changed climate conditions characterized in particular by the changes in precipitation, potential evapotranspiration and air temperature in the future decades were predicted according to the latest outputs of two regional climate change models KNMI and MPI and the A1B emission scenario. To specify changes in long-term mean monthly runoff in comparison with the reference period 1981-2010 and future time horizons, we used the physically-based rainfall-runoff WetSpa model. Based on the climate change projections of two climate change scenarios, the results agree that changes in climate and water use will lead to decreases in water resources especially in hydropower potential.

Key words: the hydropower potential, the WetSpa model, the climate change

1 ÚVOD

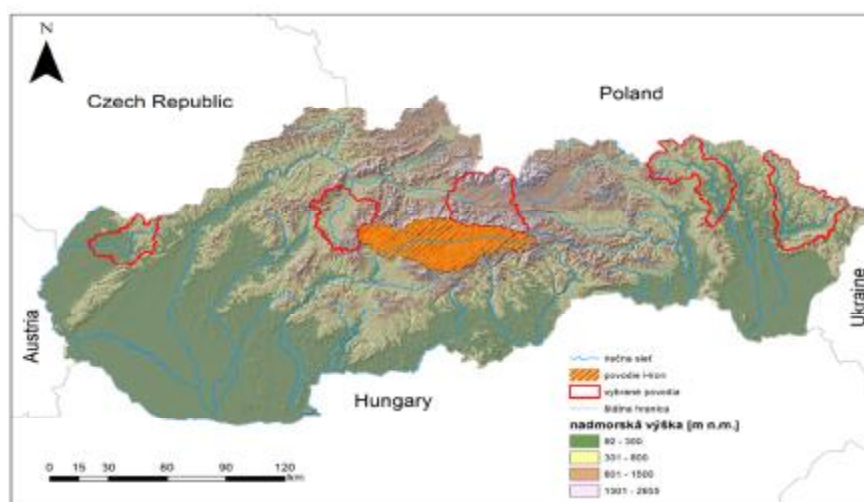
Vodné elektrárne boli jednou z prvých elektrární na výrobu elektrickej energie na Slovensku. Hydroenergetický potenciál, ktorý sa využíva vo vodných elektrárnach, je jedným z prírodných zdrojov každej krajiny. Jeho využitie na výrobu elektrickej energie je rozdielne v rôznych krajinách a kontinentoch sveta. Určujú ho najmä prirodzené podmienky a stupeň hospodárskeho, technického a sociálneho rozvoja príslušnej krajiny. Obzvlášť zaujímavé, ako dôležité ukazovatele globálneho

oteplovania, sú predpokladané trendy vývoja teplôt a zrážok v oblasti strednej Európy. Nielen v tejto oblasti ročné priemerné teploty vzrastú a otepľovanie bude pravdepodobne najväčšie v lete [3]. Okrem toho väčšina globálnych klimatických modelov (GCM) predpokladá zvýšenie frekvencie extrémnych denných zrážok napriek ich dlhodobému celkovému poklesu. Táto tendencia môže viesť k dlhším obdobiam sucha, nárastu intenzívnych zrážok a zvýšeniu povodňového rizika [1], [2], [13]. Pri priemernom odtoku v slovenských riekach sa očakáva jeho pokles s rastúcimi teplotami a klesajúcimi zrážkami. V článku analyzujeme hrubý teoretický hydroenergetický potenciál s cieľom načrtnúť všeobecné rozloženie a trendy vo výkonoch elektrární. Podľa [4] hrubý hydroenergetický potenciál povrchových vôd jednotlivých povodí vyjadruje energiu tej časti priemerných ročných atmosférických zrážok na dané územie, ktoré odtečú na stanovenú hranicu. Podiel tejto vysoko teoretickej hodnoty, ktorý bol alebo by sa mohol vyvinúť v rámci súčasnej technológie, bez ohľadu na ekonomické a iné obmedzenia, tvorí "technický" hydroenergetický potenciál [10]. Hrubý hydroenergetický potenciál možno priamo vypočítať z údajov o dostupnosti prietokov a údajoch o nadmorskej výške. Analýza vplyvov zmeny klímy a globálnej zmeny na hrubý hydroenergetický potenciál môže poskytnúť celkový indikátor regionálnych trendov, ale neumožňuje okamžité závery o zmenách v skutočnej výrobe hydroelektrickej energie v krajine [7].

V tomto článku hodnotíme možné vplyvy zmeny klímy na hydroenergetický potenciál vo vybraných povodiach, kde simulácia budúcich zmien v odtokových procesoch vychádza z výstupov regionálnych klimatických modelov KMMI a MPI.

2 OPIS ZÁUJMOVÉHO ÚZEMIA

Celková plocha povodia Hrona je 5 465 km² a jeho dĺžka je 279,5 km. Pramení v Gemerskej časti Slovenského Rudohoria vo výške 934 m n. m. a ústí do Dunaja pri Štúrove vo výške 102,9 m n. m. Čiastkové povodie Hrona je možné charakterizovať ako veľmi členité povodie. Patrí do úmoria Čierneho mora. Rieka Hron je druhou najdlhšou riekou na území Slovenska. Ako modelované povodie bolo vybrané povodie horného Hrona po Banskú Bystricu s plochou 1 775,30 km². Najväčšiu časť čiastkového povodia Hrona tvoria vysočiny s nadmorskou výškou 300 - 800 m n. m. Povodie sa vyznačuje pestrým geologickým zložením a zložitou geologicko - tektonickou stavbou. Odlišný hydrogeologický charakter majú druhohorné oblasti, v ktorých hlavným hydrogeologickým činiteľom sú vápencovo - dolomitické komplexy. Horný Hron patrí do chladnej a vlhkej klimatickej oblasti. Výpar je tu výraznejšie nižší ako zrážky, preto v tejto oblasti zaznamenávame dostatočný prebytok vlhkosti [8].



Obr. 1 Lokalizácia vybraných povodí na mape Slovenska.

3 MATERIÁL A METÓDY

3.1 Príprava scenárov klimatickej zmeny

Najnovšie scenáre zmeny klímy pre územie Slovenska boli na základe výstupov z klimatických modelov atmosféry spracované na Katedre astronómie, fyziky Zeme a meteorológie FMFI UK [6]. Do vybraných klimatických staníc boli regionalizované výstupy zo 4 klimatických modelov: dva z nich sú globálne (Kanadský CGCM3.1 a Nemecký ECHAM5) a dva regionálne (Holandský KNMI a Nemecký MPI). Všetky modely majú vo výstupoch denné hodnoty viacerých prvkov od roku 1951 do roku 2100. Model ECHAM5 má v blízkosti Slovenska 12 uzlových bodov štvorcovej siete (asi 200x200 km) a úmerne tomu zhladenú orografiu. Pri regionalizácii výstupov GCMs a RCMs sa využíva metóda tzv. štatistického downscalingu, pri ktorej sa modifikácia výstupov globálnych klimatických modelov do jednotlivých zvolených bodov na území Slovenska robí pomocou štatistických metód s použitím súborov nameraných údajov. Scenáre klimatickej zmeny sa týkajú nielen ročného chodu jednotlivých klimatických prvkov pre niektoré budúce časové horizonty, ale aj časových radov týchto prvkov až do roku 2100 [5]. Pre túto prácu boli použité výstupy regionálnych klimatických modelov KNMI a MPI, ktoré predstavujú detailnejšiu integráciu dynamických rovníc atmosférickej a oceánickej cirkulácie v sieti uzlových bodov vo vzdialenosti 25x25 km, pričom okrajové podmienky riešenia rovníc preberajú z výstupov globálneho modelu ECHAM5 a so stredného emisného scenára SRES A1B.

teplota [°C]		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Hron	1981 - 2010	-4.1	-3.1	0.5	5.9	11.1	14.0	16.0	15.4	11.0	6.4	1.1	-3.1	
	KNMI	2025	0.0	0.8	1.0	0.4	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.6	0.5	0.1
		2055	1.3	2.6	1.4	1.0	1.6	2.0	1.9	1.9	1.5	2.0	1.5	1.8
		2085	2.8	2.8	2.3	1.7	2.7	3.5	3.7	3.3	2.4	3.0	3.1	3.4
	MPI	2025	0.1	0.8	0.4	0.1	0.6	0.7	0.6	1.0	0.9	1.5	0.9	0.3
		2055	1.9	2.9	1.3	0.7	1.3	1.3	1.5	2.2	1.7	1.9	1.9	1.6
		2085	3.3	3.4	2.0	1.4	2.1	2.9	2.8	3.5	3.2	3.2	3.3	3.4
	zrážky [mm]		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Hron	1981 - 2010	48.2	45.1	53.6	56.1	94.0	101.3	93.7	82.2	66.0	59.3	67.3	62.6
KNMI		2025	-3.1	3.4	0.4	-4.2	-9.2	0.8	-11.4	3.9	34.3	-2.1	4.2	20.4
		2055	5.2	8.8	11.7	16.4	-0.6	-15.7	-9.5	2.9	19.4	8.5	2.5	19.9
		2085	14.1	21.8	24.9	10.3	-19.9	-32.9	-22.1	-3.1	37.7	14.6	6.8	24.1
MPI		2025	-0.7	8.8	3.4	-3.6	-8.4	19.7	9.5	-3.3	25.1	-3.9	8.5	13.1
		2055	7.8	6.8	16.7	21.8	-10.5	7.8	-3.7	-8.3	16.4	7.8	1.6	17.1
		2085	15.5	18.1	26.2	18.3	-14.7	0.1	-10.1	-3.8	30.3	18.6	13.9	14.8

Tab. 1 Dlhodobé priemerné mesačné hodnoty meranej teploty vzduchu a úhrnov zrážok referenčného obdobia a hodnoty odchýlok klimatických scenárov priemernej teploty vzduchu a úhrnu zrážok pre povodie Hron – Banská Bystrica.

Podľa jednotlivých klimatických modelov, ako je vidieť v tab. 1, možno očakávať pokles priemerného mesačného úhrnu zrážok v letnom období. Na druhej strane by zimné obdobie malo byť v porovnaní so súčasnými podmienkami vlhšie. Priemerná mesačná teplota vzduchu sa bude bez výnimky zvyšovať približne rovnakou rýchlosťou. Priemerné mesačné teploty vzduchu sa budú zvyšovať s rastúcim časovým horizontom.

3.2 Zrážkovo-odtokový model s rozčlenenými parametrami

Na simuláciu odtoku a ďalších zložiek hydrologickej bilancie bol použitý zrážkovo-odtokový model WetSpa s rozčlenenými parametrami [9], [11], [12]. Simulácia odtoku za zmenených klimatických podmienok bola robená pre 6 povodií. V tomto článku uvádzame ako príklad povodie Hron

so záverečným profilom vo vodomernej stanici Banská Bystrica. Nakoľko model WetSpa úzko spolupracuje s programom ESRI ArcGIS (ako jeho nadstavba), je príprava údajov viazaná na GIS prostredie. Vstupy sa pripravujú v dvoch základných formátoch – ako mapové podklady v digitálnej forme, hydrometeorologické údaje a údaje o fyzicko-geografických vlastnostiach prostredia v textovej forme. V modeli boli použité nasledujúce hydrometeorologické dáta: denné zrážkové úhrny z 15 zrážkomerných staníc a priemerné denné hodnoty teploty vzduchu z 6 klimatologických staníc. Údaje o odtoku pozostávali z priemerných denných prietokov v profile Hron - Banská Bystrica. Model bol kalibrovaný v období 1981-1995.

3.3 Hrubý hydroenergetický potenciál (HEP)

Na účely tejto štúdie sa vypočítal hrubý hydroenergetický potenciál čiastkového povodia Hron. Hrubý HEP je určený z nadmorských výšok hodnotenej oblasti a priemerných prietokov. Určuje sa k hladine mora alebo ku kóte hladiny toku na štátnej hranici.

$$P_i = P_{1-2} = 9,81 \cdot \frac{(Q_1 + Q_2)}{2} \cdot H_{1-2} \cdot \eta \quad (\text{kW})$$

Kde:

Q_1 – hodnota prietoku v hornom profile ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

Q_2 – hodnota prietoku v spodnom profile ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

H_1 – nadmorská výška v hornom profile (m)

H_2 – nadmorská výška v spodnom profile (m)

h – celková účinnosť premeny energie, $h = 1$ pre hrubý hydroenergetický potenciál

Hrubý hydroenergetický potenciál HP_i bol potom vypočítaný ako teoretická hodnota množstva energie vo vodnom toku za rok.

$$HP_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot 8760 \cdot 10^{-6} \quad (\text{GWh})$$

Výpočty boli robené pre:

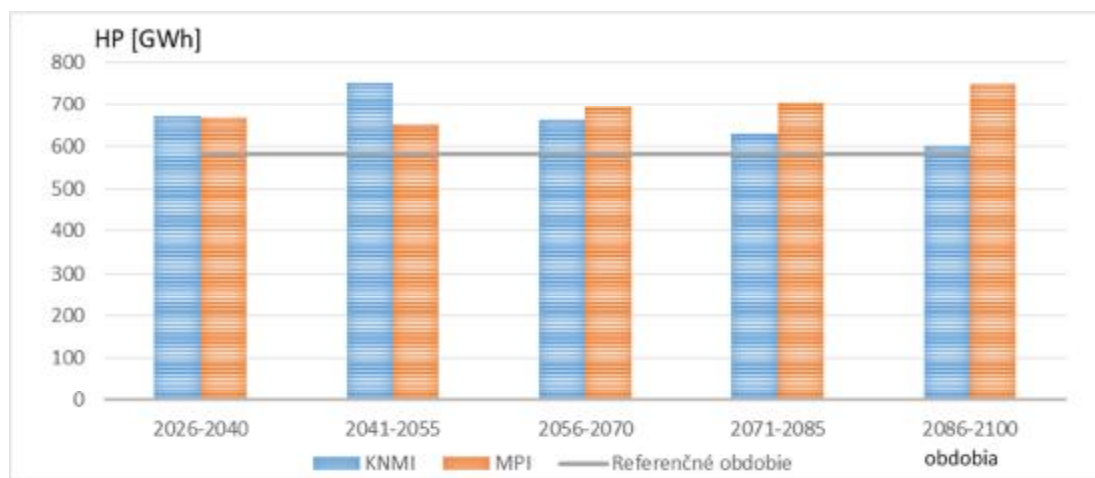
Q_{50} = stredný prietok s 50% pravdepodobnosťou prekročenia

Q_{95} = minimálny prietok s 95% pravdepodobnosťou prekročenia

4 VÝSLEDKY

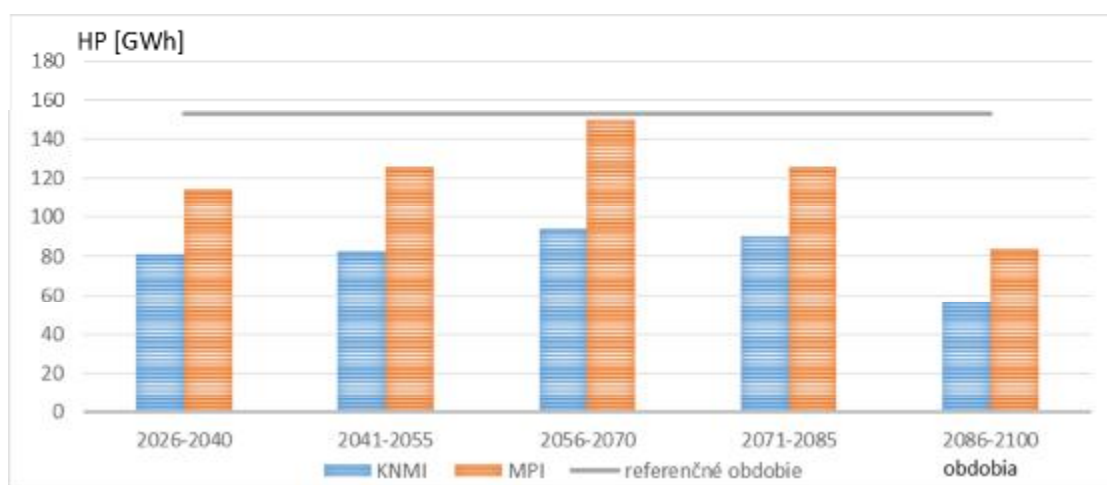
Pri simulácii odtoku boli použité nakalibrované globálne parametre modelu získané z kalibračného obdobia 1981-1995. Za referenčné obdobie bolo zvolené obdobie rokov 1981-2010. Na takto nakalibrovaných globálnych parametroch hydrologického modelu WetSpa sme použili výstupy z klimatických modelov KNMI a MPI. Výstupy zo zrážkovo-odtokového modelu WetSpa boli rozdelené na päť 15-ročných období. Na základe simulovaných dlhodobých priemerných denných výbojov sme podľa vzťahu na výpočet teoretického hrubého hydroenergetického potenciálu odvodili jeho hodnoty. Hodnoty teoretického hrubého hydroenergetického potenciálu sme porovnávali medzi referenčným obdobím a jednotlivými klimatickými scenármi.

Na obrázku 2 je zrejmé, že teoretický hrubý hydroenergetický potenciál pre stredný prietok s 50% pravdepodobnosťou prekročenia mierne stúpol. Je však potrebné poznamenať, že jeho trend sa v budúcnosti nevyhne klesajúcej tendencii.



Obr. 2 Sumarizácia výsledkov postupu výpočtu priameho (povrchového) odtoku.

Opačná situácia sa môže vyskytnúť pri porovnaní teoretického vodného potenciálu (minimálny prietok s 95% pravdepodobnosťou prekročenia) medzi referenčným obdobím a scenármi zmeny klímy (obr. 3). Pokles hydroenergetického potenciálu môže byť v budúcnosti výrazný, najmä ku koncu tohto storočia.



Obr. 3 Priemerná ročná strata pôdy a odnos pôdných častíc v lokalite Kubíny.

5 ZÁVER

V tomto článku sme sa venovali analýzou vplyvov zmeny klímy a globálnej zmeny na budúci hydroenergetický potenciál v čiastkovom povodí rieky Hron. Scenáre zmeny klímy KNMI a MPI predstavujú menej extrémne zmeny (stredný emisný scenár A1B). Spomínané klimatické scenáre naznačujú, že prakticky všetky simulované povodia by mohli byť ohrozené letnými alebo jesennými suchami. Na základe simulovaného povodia v tejto práci je pravdepodobné, že tento efekt bude platiť pre celé územie Slovenska. Na druhej strane je možné, že dlhodobý priemerný mesačný odtok sa zvýši v zime. Nedostatok vody v snehovej pokrývke v zimnom období môže počas zvyšku roka ovplyvniť

dostupnosť vody. Výsledkom klimatických zmien bude zvyšovanie teploty vzduchu zimnom období. Na základe prognóz klimatických zmien z uvedených dvoch scenárov sa výsledky zhodujú v tom, že zmeny v klimatických podmienkach povedú k poklesu vodných zdrojov, rovnako tak v hydroenergetickom potenciáli. Za tento jav bude do istej miery zodpovedať posun k suchšiemu podnebiu alebo výraznému zvýšeniu spotreby vody. Pri interpretácii výsledkov by sme však nemali zabúdať na neistoty pri hydrologickom modelovaní. Hydrologické modely sú vo svojej podstate neisté a ešte viac pri zvažovaní budúcich plánovaní.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-15-0425 a Vedeckou grantovou agentúrou MŠVVaŠ SR v rámci projektu č. VEGA 1/0891/17.

Použitá literatúra

- [1] Ayanshola, A., Olofintoye, O., & Obadofin, E. (2018): The Impact of Global Warming on Precipitation Patterns in Ilorin and the Hydrological Balance of the Awun Basin. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 26(1), 40-46.
- [2] Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu, and J. P. Palutikof. (2008): Climate change and water. *International Panel on Climate Change Tech. Rep. 6*, 214 pp.
- [3] Christensen, J. H., and Coauthors (2007): Regional climate projections. *Climate Change, The Physical Science Basis*, S. Solomon et al., Eds., Cambridge University Press, 847–940.
- [4] Eurelectric (1997): Study on the importance of harnessing the hydropower resources of the world, Union of the Electric Industry (Eurelectric), Hydro Power and other Renewable Energies Study Committee, Brussels.
- [5] Lapin M. a kol. (2006): Physically and statistically plausible downscaling of daily GCMs outputs and selected results. *Acta Met. Univ. Comenianae, Bratislava*, XXXIV: 35–57.
- [6] Lapin M., Bašták I., Gera M., Hrvoľ J., Kremler M., Melo M. (2012): New climate change scenarios for Slovakia based on global and regional general circulation models. *Acta Meteorologica Universitatis Comenianae*, 37, 25–73.
- [7] Nistoran, D. E. G., Abdelal, D., Ionescu, C. S., Opriș, I., Costinaș, S. (2017): A simple method to assess theoretical hydropower potential of a river. In *Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2017 10th International Symposium on (pp. 764-767). IEEE.
- [8] Pekárová, P., Szolgay, J. (2005): Scenáre zmien vybraných zložiek atmosféry a biosféry v povodí Hrona a Váhu v dôsledku klimatickej zmeny. *VEDA SAV, Bratislava*, 493 s., ISBN 80-224-0884-0.
- [9] Rončák, P., Hlavčová, K., Látková, T. (2016): Estimation of the effect of changes in forest associations on runoff processes in basins: case study in the Hron and Topla river basins, *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24/3, pp. 1-7.
- [10] Salami, A. W., Sule, B. F., Adunkpe, T. L., Ayanshola, A. M., Bilewu, S. O. (2017): Evaluation of the Hydropower Generation Potential of a Dam Using Optimization Techniques: Application to Doma Dam, Nassarawa, in North Central Nigeria. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 25(1), 1-9.
- [11] Valent, P., Rončák, P., Maliariková, M., Behan, Š. (2016): Utilization of historical maps in the land use change impacts studies: a case study from Myjava River basin. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 24, 4, 15-26.

- [12] Wang, Z., Batellan, O., De Smedt, F. (1996): A Distributed Model For Water And Energy Transfer Between Soil, Plants And Atmosphere (Wetspa), *Phys. Chem. Earth*, 21, pp. 189-193.
- [13] Wani, J. M., Sarda, V. K., & Jain, S. K. (2017): Assessment of Trends and Variability of Rainfall and Temperature for the District of Mandi in Himachal Pradesh, India. *Slovak Journal of Civil Engineering*, 25(3), 15-22.