

Termičko djelovanje na građevine - meteorološka podloga za hrvatske norme

Marjana Gajić-Čapka, Ksenija Zaninović, Boris Androić, Ivica Džeba, Darko Dujmović

Ključne riječi

termičko djelovanje,
ekstremne temperature
zraka, analiza ekstrema,
klimatski parametri,
nadmorska visina,
temperaturne zone

Key words

thermal action,
extreme air temperatures,
analysis of extremes,
climatic parameters,
altitude,
temperature zones

Mots clés

action thermique,
températures extrêmes de
l'air,
analyse des extrêmes,
paramètres climatiques,
altitude,
zones des températures

Ключевые слова:

термическое действие,
экстремальные
температуры воздуха,
анализ экстремальностей,
климатические параметры,
высота над уровнем моря,
температурные зоны

Schlüsselworte:

Thermischer Einfluss,
extreme Lufttemperaturen,
Extremanalyse,
Klimaparameter,
Höhe ü. M.,
Temperaturzonen

M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović

Pregledni rad

Termičko djelovanje na građevine – meteorološka podloga za hrvatske norme

Uvodno je prikazano termičko djelovanje na građevine prema prednormi ENV 1991-2-5:1997, što ovisi o klimatskim parametrima. Slijedi opis istraživanja režima ekstremnih temperatura zraka za Hrvatsku na bazi podataka iz razdoblja 1961-1990. Temperaturno zoniranje Hrvatske provedeno je prema vertikalnim gradijentima parametara T_{max50} i T_{min50} i njihove ovisnosti o nadmorskoj visini. Definirano je pet zona za maksimalne temperature zraka i šest zona za minimalne temperature zraka.

M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović

Subject review

Thermal effects on buildings - meteorological input data for Croatian standards

Thermal effects on buildings, defined in the draft standard ENV 1991-2-5:1997, and dependant on climatic parameters, are presented in the introductory part of the paper. The paper continues with the description of the study of extreme air temperature regimens in Croatia, based on data from the 1961-1990 period. The temperature-based zoning of Croatia was conducted according to vertical gradients of parameters T_{max50} and T_{min50} , and based on their dependence on altitude. Five zones were defined for maximum air temperatures while six zones were defined for minimum air temperatures.

M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović

Ouvrage de synthèse

L'action thermique sur les bâtiments – une base météorologique pour les normes croates

On présente en introduction l'action thermique sur les bâtiments selon la norme de la série ENV 1991-2-5:1997, en fonction des paramètres climatiques. Suit une description de la recherche des régimes des températures extrêmes de l'air pour la Croatie, à partir des bases de données de la période 1961 à 1990. Le zonage des températures en Croatie a été effectué d'après les gradients verticaux des paramètres T_{max50} et T_{min50} et de leur dépendance de l'altitude. Cinq zones ont été définies pour les températures maximales de l'air et six zones pour les températures minimales de l'air.

M. Гаич-Чапка, К. Занинович, Б. Андрич, И. Джебба, Д. Дуймович

Обзорная работа

Термическое действие на сооружения - метеорологическая база для хорватских норм

В работе в введении показано термическое действие на сооружения согласно преднорме ЕНВ 1991-2-5: 1997, что зависит от климатических условий. Затем следует описание исследования режима экстремальных температур воздуха, что касается Хорватии, на основании данных из периода 1961-1990 г.г. Температурное зонирование Хорватии проведено на основании вертикальных градиентов параметров T_{max50} , и T_{min50} и их зависимости в отношении их высоты над уровнем моря. Определено пять зон для максимальных температур воздуха и шесть зон для минимальных температур воздуха.

M. Gajić-Čapka, K. Zaninović, B. Androić, I. Džeba, D. Dujmović

Übersichtsarbeit

Thermischer Einfluss auf Bauwerke – meteorologische Grundlage für kroatische Normen

Einleitend ist der thermische Einfluss auf Bauwerke nach der Vornorm ENV 1991-2-5:1997 dargestellt, der von Klimaparametern abhängt. Es folgt die Beschreibung der Untersuchung des Regimes der extremen Lufttemperaturen für Kroatien auf Grund der Angaben aus der Zeitspanne 1961.-1990. Die Temperaturzonierung Kroatiens wurde nach den Vertikalgradienten der Parameter T_{max50} und T_{min50} und deren Abhängigkeit von der Höhe ü. M. durchgeführt. Definiert wurden fünf Zonen für maximale und sechs Zonen für minimale Lufttemperaturen.

Autori: Dr. sc. **Marjana Gajić-Čapka**, dipl. ing. fiz.; mr. sc. **Ksenija Zaninović**, dipl. ing. fiz., Državni hidrometeorološki zavod, Zagreb; prof. dr. sc. **Boris Androić**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Ivica Džeba**, dipl. ing. građ.; doc. dr. sc. **Darko Dujmović**, dipl. ing. građ., Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

1 Uvod

Djelovanja u graditeljstvu koja ovise o klimatskim uvjetima određuju se uvažavajući klimatske parametre određene iz dugogodišnjih praćenja meteoroloških prilika. Državni hidrometeorološki zavod, kao nadležna nacionalna služba, provodi mjerenja, opažanja, prikupljanja, kontrole i verifikacije podataka o stanju atmosfere i fizikalnim procesima koji u njoj teku. Dijelom se ti podaci mogu iskoristiti kao podloge za određivanje djelovanja na građevine u okviru novih hrvatskih norma.

Klima u Hrvatskoj odražava uzajamno djelovanje opće cirkulacije atmosfere i specifičnih utjecaja Jadranskog mora s razvedenom obalom, složenog reljefa Dinarida i Panonske ravnice. Navedeni utjecaji dolaze do izražaja kod svih meteoroloških parametara pa tako i kod ekstremnih temperatura zraka. Analiza apsolutnih maksimuma i apsolutnih minimuma temperature zraka usklađena je sa smjernicama za izbor meteoroloških parametara i metoda analiza koje se navode u Eurokodu, uz uvažavanje rezultata istraživanja i iskustava hrvatske meteorološke prakse.

2 Računska stanja i prikaz termičkog djelovanja

Termičko djelovanje na konstrukciju ili konstrukcijski element može se definirati kao razlika temperaturnog polja unutar određenoga vremenskog razmaka. Uobičajeno je da se promatra konstrukcijski element tako da se termičko djelovanje odnosi na opis promjene u temperaturi u tom elementu. Karakteristične vrijednosti termičkog djelovanja primjenjuju se u dokazu sigurnosti elementa koji je izložen svakodnevnim i sezonskim promjenama temperature zraka, sunčeva zračenja, izgaravanja itd. Računske vrijednosti termičkog djelovanja dobiju se ako se učinci (sile, momenti, pomaci) karakterističnih vrijednosti termičkih djelovanja pomnože s odgovarajućim faktorima sigurnosti za krajnje granično stanje ili granično stanje uporabe.

Termičko djelovanje može biti:

- promjenjivo djelovanje,
- indirektno djelovanje.

Za termičko djelovanje koje je promjenjiva karaktera potrebno je definirati elementarni vremenski interval Δt za statističko prikupljanje podataka. Tako se na primjer za temperaturno djelovanje elementarni vremenski razmak definira prema Eurokodu na godinu promjenu 3 mjeseca, a na dan promjenu 6 sati. Općenito se mogu usvojiti tri razreda trajanja djelovanja kako se vidi na tablici 1.

Tablica 1. Klase trajanja djelovanja

Klasa trajanja	Akumulirano trajanje u 50 god.	Koeficijent
Kratko	manje od 1 tjedna	1,0
Srednje	1 tjedan do 1 godina	ψ_1
Dugo	više od 1 godine	ψ_2

Koeficijenti redukcije u tablici 1. su:

ψ_1 - koeficijent za učestalu vrijednost,

ψ_2 - koeficijent za kvazistalnu vrijednost.

Pri termičkom utjecaju treba još uzeti u obzir koeficijent ψ'_1 koji se odnosi na vrijednost koja nije učestala.

Intenzitet (veličina) termičkog učinka ovisi o lokalnim klimatskim uvjetima, ali i o orijentaciji građevine, izloženosti suncu, uvjetima grijanja i ventilacije u zgradi itd.

Raspodjela temperature u nekom konstrukcijskom elementu može se rastaviti i prikazati sa četiri konstituirajuće komponente:

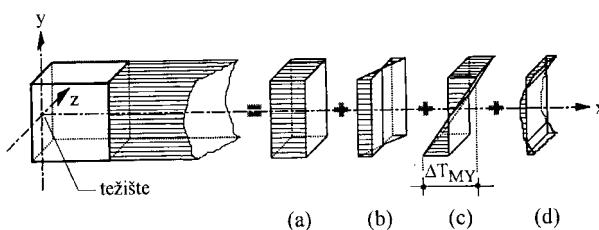
ΔT_N - jednolika temperatura

ΔT_{Mz} - linearna promjena temperature oko osi z-z

ΔT_{My} - linearna promjena temperature oko osi y-y

ΔT_E - nelinearna raspodjela temperature.

Navedene četiri komponente prikazane su na slici 1. Kod zgrada obično se rabi ΔT_N , dok se kod mostova obično primjenjuju ΔT_N , ΔT_{Mz} i ΔT_{My} .



Slika 1. Raspodjela temperature prikazana sa 4 konstituirajuće komponente

3 Ekstremne temperature zraka u meteorološkom zaklonu

3.1 Podaci

U europskoj prednormi ENV 1991-2-5:1997 – “Temelj projektiranja i djelovanja na građevine - Djelovanje na građevine - Termička djelovanja” [1], dana je definicija temperature zraka koja se primjenjuje u proračunima termičkog djelovanja na građevine. Uvažavajući hrvatski sustav meteoroloških mjerenja i motrenja koji je usklađen sa standardima Svjetske meteorološke organiza-

cije, za potrebe izrade hrvatskih norma analizirana je apsolutna najveća i apsolutna najmanja temperatura zraka koja se mjeri u meteorološkom krugu u meteorološkom zaklonu (termometrijskoj kućici) na 2 m visine iznad tla s pomoću najmanjega i najvećeg termometra jednom na dan u večernjem klimatološkom terminu mjerenja u 21 sat po lokalnom vremenu.

Za zoniranja Hrvatske prema vertikalnim gradijentima najveće i najmanje temperature zraka koje se mogu očekivati jednom u 50 godina uporabljene su sve meteorološke postaje koje raspolažu s potpunim nizom mjerenja ekstremnih temperatura zraka u 30-godišnjem razdoblju 1961.-1990. što ih Svjetska meteorološka organizacija preporučuje kao referentno razdoblje za prikaz klime našeg vremena. Budući da je za analizu prostorne raspodjele i zoniranje potrebno raspolagati sa što gušćom mrežom postaja, broj postaja s potpunim nizom podataka dopunjen je i postajama koje raspolažu s barem 20-godišnjim nizom podataka u razdoblju 1961.-1990. Na lokacijama o kojima je bitno ovisilo određivanje vertikalnih gradijenata, a time i zoniranje, kao što je npr. meteorološka postaja Sv. Jure na vršnom području Biokova, Vela Sestrica na Kornatima ili Brezovo Polje na vrhu Psunja, uporabljeni su i podaci iz nešto kraćih nizova (18-19 godina). Dakle, u analizi najvećih temperatura zraka raspolagalo se sa 127 postaja (slika 2.) i u analizi najmanjih temperatura zraka sa 120 postaja (slika 4.).

3.2 Statistička obrada podataka – analiza ekstrema

Prema europskoj prednormi ENV 1991-2-5:1997 [1], klimatološki su parametri koji se uzimaju u obzir u građevinskim proračunima apsolutna najveća apsolutna najmanja temperatura zraka koja se može očekivati jednom u 50 godina (T_{max50} i T_{min50}).

Očekivani godišnji ekstremi procijenjeni su iz nizova godišnjih maksimuma odnosno minimuma temperature zraka s pomoću opće razdiobe ekstremnih vrijednosti (GEV razdioba) prema Jenkinsonu, koji ju je prvi uporabio za meteorološke podatke [2-7]. Ona se primjenjuje i u Državnom hidrometeorološkom zavodu Republike Hrvatske (DHMZ) u analizama ekstremnih temperatura zraka [8-10] te u studijama i elaboratima DHMZ-a.

Za generaliziranu razdiobu ekstremnih vrijednosti Jenkinson je dao opći oblik troparametarske razdiobe ekstrema koji zadovoljava uvjet stabilnosti [2]:

$$P(x) = \exp \left[-e^{-y(x)} \right], \quad (1)$$

gdje je $P(x)$ vjerojatnost da je godišnji ekstrem najviše jednak x , a $y(x)$ je reducirana varijata:

$$y = -\ln \ln \frac{1}{P(x)}. \quad (2)$$

Jenkinsonovo opće rješenje uvjeta stabilnosti [10] ima oblik:

$$x = x_o + \alpha \frac{1 - e^{-ky}}{k}. \quad (3)$$

Veličina x_o je vrijednost koja se može očekivati jednom na godinu uz $y = 0$, α je nagib x , y krivulje u točki $x = x_o$, $y = 0$ i k je parametar zakrivljenosti.

Opće rješenje uključuje sva tri tipa graničnih slučajeva koje su utvrdili Fisher i Tippet (1928.), a koji su određeni s pomoću vrijednosti parametra k .

Ako je $k > 0$ krivulja (3) teži konačnoj vrijednosti

$$x_{\max} = x_o + \frac{\alpha}{k}.$$

Za $k = 0$ krivulja (3) ima oblik pravca $x = x_o + \alpha y$ i teži prema beskonačnosti. Razdioba ekstrema se tada naziva Gumbelovom razdiobom.

Za $k < 0$ krivulja (3) nema gornje granice, a donja asimptota jest

$$x_{\min} = x_o - \frac{\alpha}{k}.$$

Povratno razdoblje $T(x)$ definirano je kao srednji vremenski razmak koji proteče između dvaju premašaja vrijednosti x i može se pisati kao:

$$\frac{1}{T} = 1 - P(x), \quad (4)$$

iz čega proizlazi relacija:

$$y = -\ln \ln \frac{T}{T-1}. \quad (5)$$

Veza između procijenjenoga ekstrema x i pripadnoga povratnog razdoblja T dana je izrazom:

$$x = x_o + \alpha \frac{1 - \{ \ln [T / (T-1)] \}^k}{k}. \quad (6)$$

U ovoj analizi primijenjen je program za izračunavanje parametara dvoparametarske Gumbelove razdiobe i troparametarske Jenkinsonove razdiobe, te očekivane eks-

tremne vrijednosti temperature zraka (minimumi i maksimumi) za tražene povratne periode, koji je sastavni dio izvješća [7] u seriji publikacija što ih izdaje Svjetska meteorološka organizacija (WMO) u okviru "Svjetskog klimatskog programa - primjena".

Procjene parametara izračunane su metodom maksimalne vjerojatnosti iz uzoraka koji su nizovi izmjerenih godišnjih najvećih odnosno najmanjih temperatura zraka.

3.3. Primijenjena metoda za temperaturno zoniranje Hrvatske

Zoniranje Hrvatske provedeno je prema vertikalnim gradijentima najveće (T_{max50}) i najmanje (T_{min50}) temperature zraka koje se mogu očekivati jednom u 50 godina, dakle njihove ovisnosti o nadmorskoj visini, uz uvažavanje temperaturnih karakteristika lokacija s posebnom izloženosti (udoline, grebeni) ili urbane sredine. O takvim svojstvima posebno je navedeno u diskusiji rezultata i napomenama za pojedinu zonu.

Ispitivanje različitih oblika ovisnosti (linearna, eksponencijalna ili krivulja potencije) ekstremnih temperatura zraka o nadmorskoj visini istaknulo je u svim slučajevima linearnu vezu kao odgovarajuću. U slučajevima gdje su koeficijenti korelacije, kao mjera veze promatranog parametra temperature zraka i nadmorske visine, imali približno istu vrijednost odabrana je linearna veza za vertikalni gradijent u pripadnoj zoni zbog lakše praktične primjene.

4 Temperaturno zoniranje Hrvatske

4.1 Klimatske zone najvećih temperatura zraka T_{max50}

Na području Hrvatske izdvojeno je pet klimatskih zona najvećih temperatura zraka koje se mogu očekivati u prosjeku jednom u 50 godina (T_{max50}) odnosno kojima pripada povratno razdoblje od 50 godina. Zone (slika 2.) se odnose približno na sljedeća geografska područja:

Zona I. - kontinentalni dio Hrvatske (Gorski kotar, Lika, Banija, Kordun i Hrvatska sjeverno od Save)

Zona II. - Istra i Hrvatsko primorje s otocima,

Zona III. - dalmatinsko priobalje

Zona IV. - dalmatinski otoci

Zona V. - dalmatinsko zaleđe.

Dobiveni linearni odnosi ovisnosti T_{max50} i nadmorske visine h za ovih pet zona navedeni su u tablici 2.

Tablica 2. Veza T_{max50} o nadmorskoj visini h i pripadni koeficijenti korelacije r .

Zona	T_{max50} [$^{\circ}$ C]	r [m]
I.	$38,6 - 0,0068 h$	0,90
II.	$36,4 - 0,0048 h$	0,83
III.	$38,6 - 0,0052 h$	0,84
IV.	$37,8 + 0,0016 h$	0,10
V.	$41,9 - 0,007 h$	0,99

Regresijski pravci odnosa najvećih temperatura zraka T_{max50} i nadmorske visine prikazani su na slici 3.

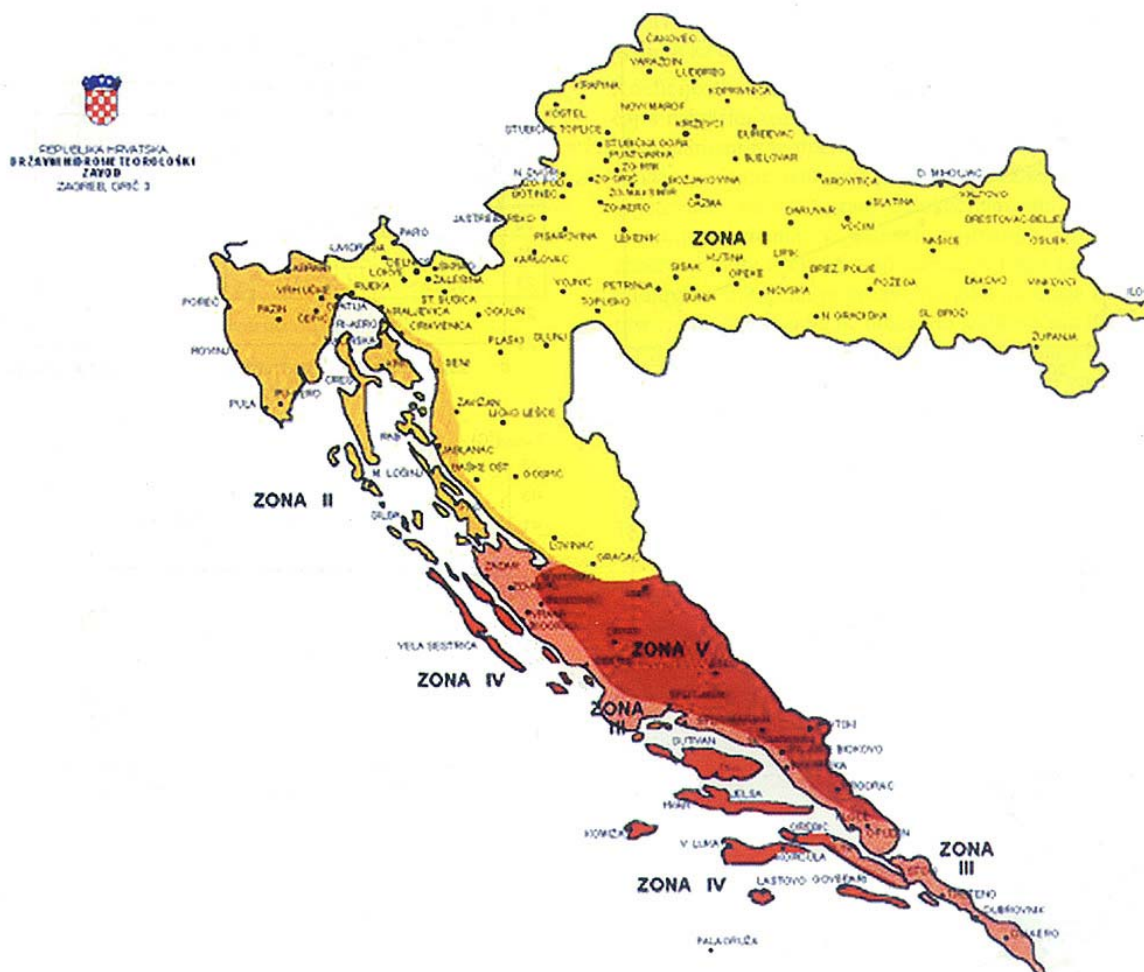
Analizom dobivenih linearnih veza najveće temperature zraka T_{max50} i nadmorske visine h , te grafičkih prikaza tih regresijskih pravaca i odnosa položaja procijenjenih najvećih temperatura zraka T_{max50} na raspoloživim lokacijama u odnosu prema proračunanom pravcu, mogu se izvesti dalje navedeni zaključci za područje Hrvatske s obzirom na zone.

Tablica 3. Karakteristične najveće temperature zraka T_{max50} ($^{\circ}$ C) za svakih 100 m nadmorske visine po zonama

h [m]	Zona I.	Zona II.	Zona III.	Zona IV.	Zona V.
0	38,6	36,4	38,6	37,8	41,9
100	37,9	35,9	38,1	37,9	41,2
200	37,2	35,4	37,5	38,1	40,5
300	36,6	34,9	37,0	38,2	39,8
400	35,9	34,5	36,5	38,4	39,1
500	35,2	34,0	36,0	38,6	38,4
600	34,5	33,5	35,5	38,7	37,7
700	33,8	33,0	34,9	38,9	37,0
800	33,2	32,5	34,4	39,0	36,3
900	32,5	32,1	33,9		35,6
1000	31,8	31,6	33,4		34,9
1100	31,1	31,1	32,9		34,2
1200	30,4	30,6	32,3		33,5
1300	29,8	30,1	31,8		32,8
1400	29,1	29,7	31,3		32,1
1500	28,4	29,2	30,8		31,4
1600	27,7	28,7	30,3		30,7
1700	27,0	28,2	29,7		30,0
1800			29,2		29,3

Napomene:
 Zona I.: U Lici na visinama do 600 m nm mogu se očekivati T_{max50} više 2° C
 Zona II.: U unutrašnjosti Istre na visinama na visinama 200-500 m nm mogu se očekivati T_{max50} više 2° C

Vertikalni gradijenti najvećih temperatura zraka T_{max50} daju posebno obilježje pojedinoj zoni i zajedno s baznim potencijalom određuju očekivane vrijednosti najvećih temperatura na pojedinim nadmorskim visinama. Bazni



Slika 2. Klimatske zone najvećih temperatura zraka T_{max50} , razdoblje 1961.-1990.

temperaturni potencijal označava onu najveću temperaturu zraka T_{max50} koja bi se mogla očekivati u svakoj pojedinoj zoni na razini mora (0 m nm).

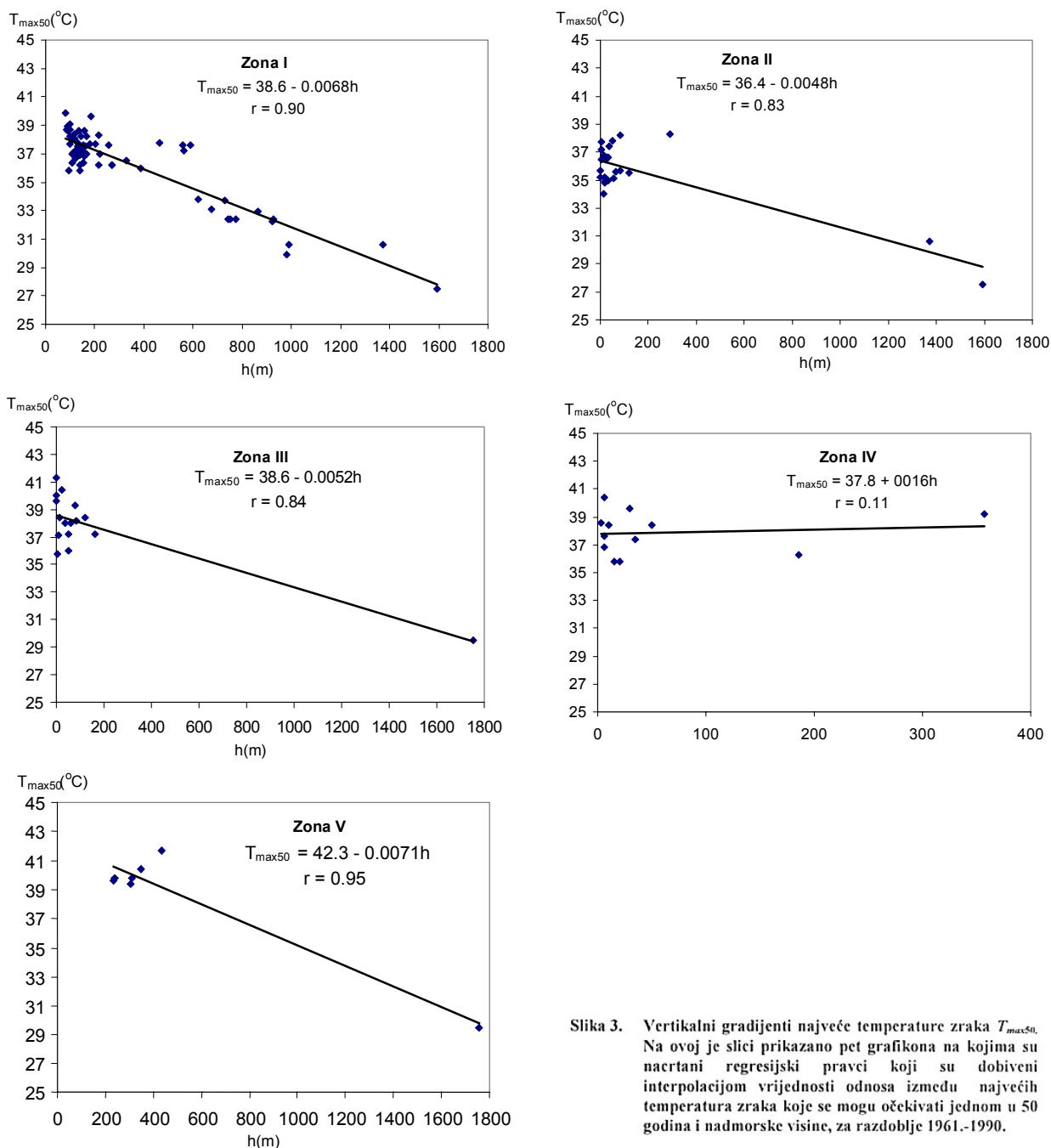
Najbrži pad najveće temperature T_{max50} s visinom (0,7°C na 100 m) postoji u planinskoj i ravničarskoj Hrvatskoj (zona I.) te u dalmatinskom zaleđu (zona V.). Međutim, zbog razlika u geografskoj širini i izrazitim razlikama u karakteristikama tla, bazni se temperaturni potencijali razlikuju. I dok je on u zoni I. 38,6°C, u krškom području dalmatinskog zaleđa, gdje ljeti dolazi do jakog zagrijavanja i izjaravanja kamenjara, bazni potencijal je čak 41,9 °C. Zbog istog djelovanja zagrijavanja kraških ličkih polja ljeti u zoni I na području Like na visinama do 600 m nm mogu se očekivati T_{max50} više 2°C od proračunanih vrijednosti za te visine prema linearnoj regresiji za zonu I.

Duž jadranske obale i na otocima sjevernog Jadrana (zona II. i zona III.) vertikalni gradijent je nešto manji (pad

od 0,5°C na 100 m). Međutim, očekivane najveće temperature zraka T_{max50} na visini 0 m su 2°C više na dalmatinskoj obali (38,6 °C) nego na priobalju i otocima Primorja i u Istri (36,4 °C). Doprinos ovim razlikama daju prvenstveno različite geografske širine. U zoni II. na području Istre izdvaja se unutrašnjost, gdje se na visoravnima na visinama 200 - 500 m nm mogu očekivati T_{max50} više 2°C od proračunanih vrijednosti za te visine prema linearnoj regresiji za zonu II.

Na dalmatinskim otocima s baznim potencijalom od 37,8 °C, praktički se očekivana najveća temperatura zraka T_{max50} ne mijenja s visinom zbog relativno malih kopnenih površina otoka i jakog utjecaja mora na cijelom području otoka (zona IV.).

Temperaturne prilike priobalnog i kontinentalnog dijela Hrvatske izjednačuju se na vrhovima graničnih planinskih masiva uz more. Stoga granice zona u unutrašnjosti i na obali prolaze hrptom planina duž jadranske obale (Velebit, Mosor, Biokovo).



Slika 3. Vertikalni gradijenti najveće temperature zraka T_{max50} . Na ovoj je slici prikazano pet grafikona na kojima su nacrtani regresijski pravci koji su dobiveni interpolacijom vrijednosti odnosa između najvećih temperatura zraka koje se mogu očekivati jednom u 50 godina i nadmorske visine, za razdoblje 1961.-1990.

Iz linearnih odnosa najveće temperature zraka T_{max50} i nadmorske visine h (tablica 2.) projektanti mogu proračunati očekivanu T_{max50} za lokaciju na kojoj planiraju izgradnju ili rekonstrukciju neke građevine, čiju nadmorsku visinu poznaju, a čiju su pripadnu zonu odredili iz karte (slika 2.).

Ako se u novim hrvatskim normama daje prednost tabličnim prikazima karakterističnih najvećih temperatura zraka T_{max50} po pojedinim zonama, slijedi prikaz karakterističnih vrijednosti najveće temperature zraka T_{max50}

za svakih 100 m nadmorske visine po dobivenim zonama za Hrvatsku (tablica 3.).

4.2 Klimatske zone najmanje temperature zraka T_{min50}

Na području Hrvatske izdvojeno je šest klimatskih zona najmanjih temperatura zraka koje se mogu očekivati u prosjeku jednom u 50 godina odnosno kojima pripada povratno razdoblje od 50 godina. Zone se odnose (slika 4.) približno na sljedeća geografska područja:

Tablica 4. Ovisnost T_{min50} o nadmorskoj visini h te pripadni koeficijenti korelacije r .

Zona	T_{min50} [$^{\circ}$ C]	r [m]
I.	$-26,1 + 0,0078 h$	0,64
II.	$-26,5 + 0,0012 h$	0,14
III.	$-16,3 - 0,0056 h$	0,98
IV.	$-9,1 - 0,0094 h$	0,89
V.	$-5,3 - 0,012 h$	0,61
VI.	$-15,9 - 0,0044 h$	0,56

Zona I. - Hrvatska sjeverno od Kupe i Save

Zona II. - Gorski kotar, Banija, Kordun i Lika

Zona III. - unutrašnjost Istre

Zona IV. - jadransko priobalje i otoci sjevernog Primorja

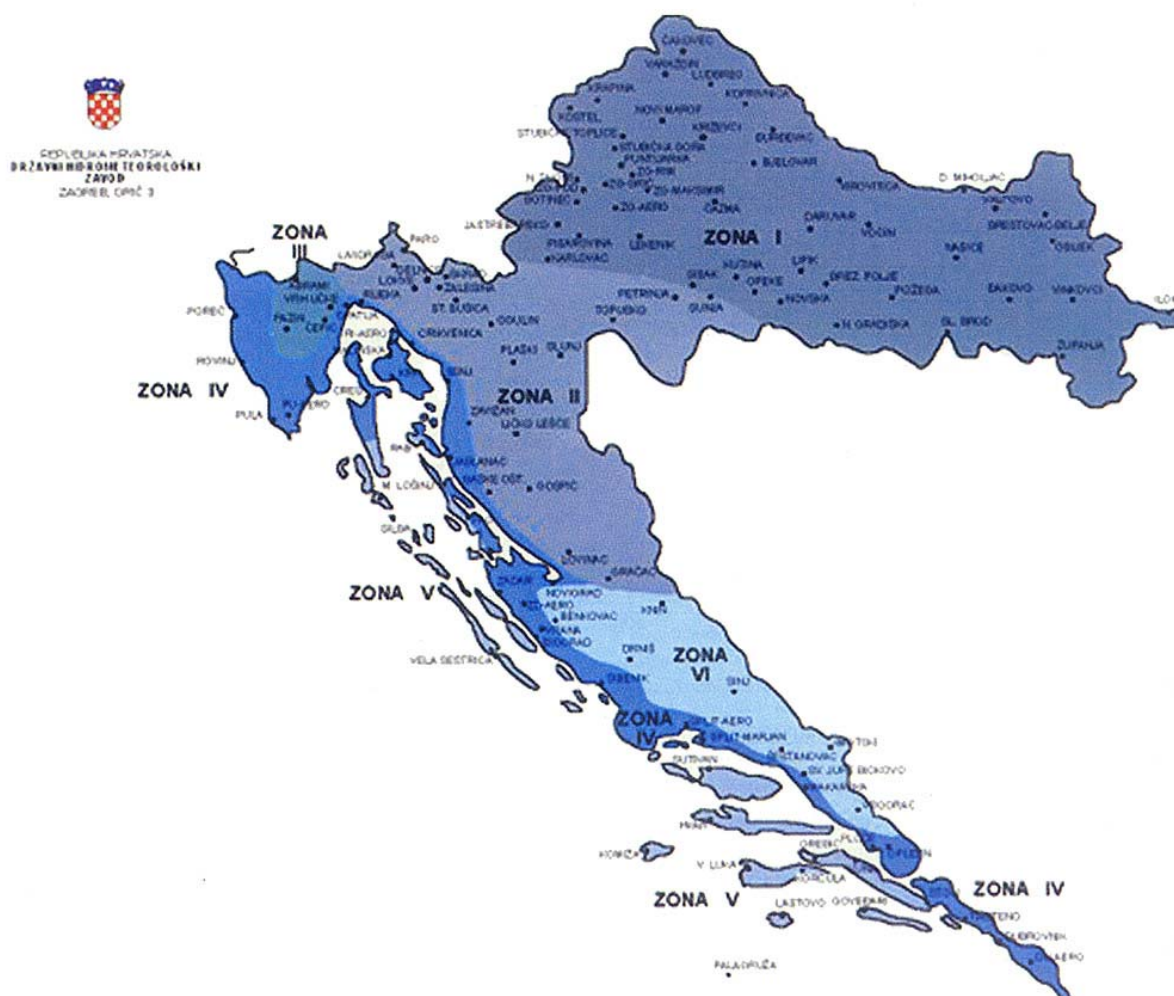
Zona V. - otoci srednje i južne Dalmacije

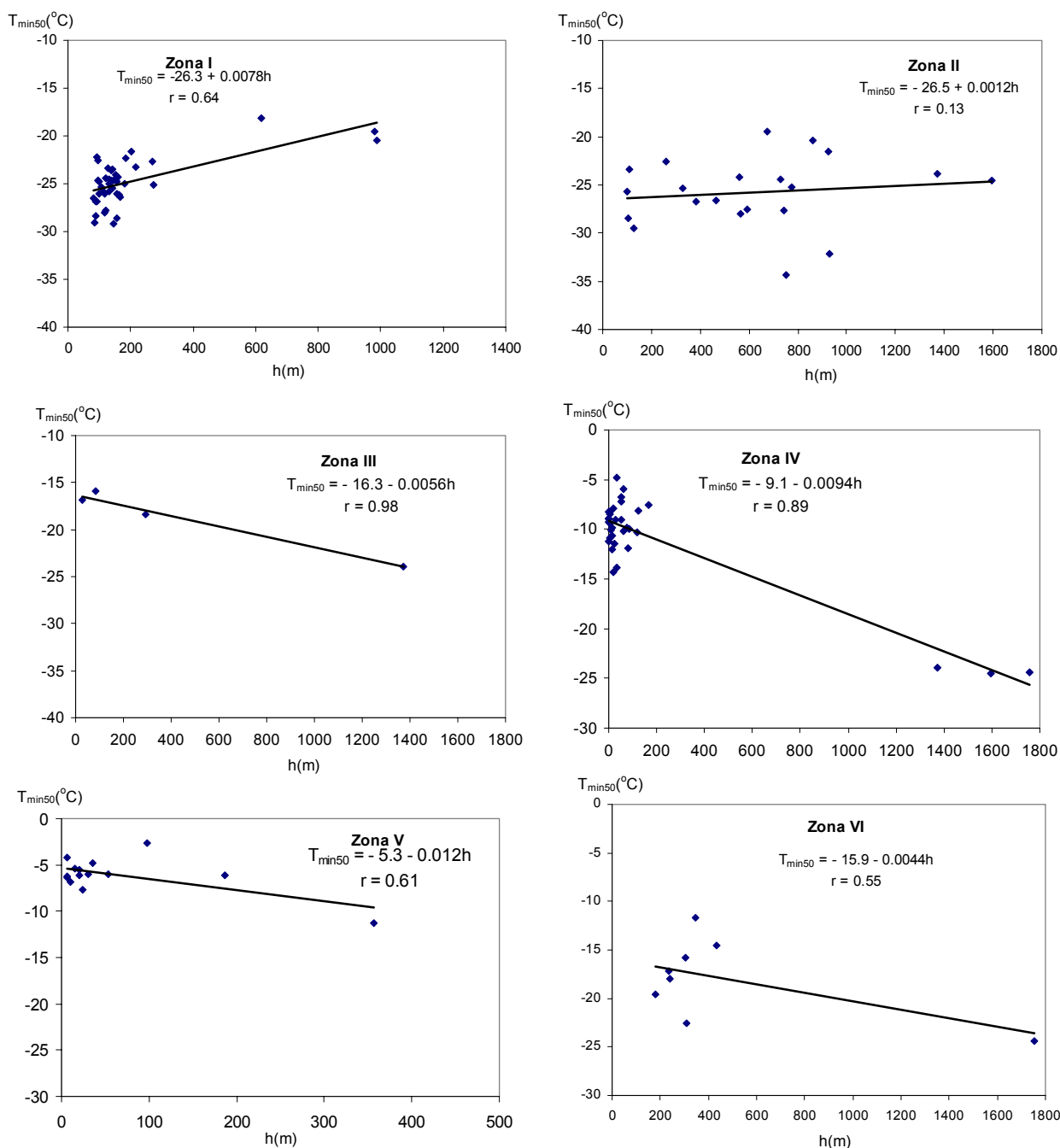
Zona VI. - dalmatinsko zaleđe.

Dobiveni linearni odnosi ovisnosti T_{min50} o nadmorskoj visini h za ovih šest zona navedeni su u tablici 4.

Koeficijenti regresije su nešto slabiji nego što je to slučaj s najvećim temperaturama, zbog većeg rasapa vrijednosti najmanjih temperatura zraka na istim nadmorskim visinama. Naime, najmanje temperature izrazito su lokalno uvjetovane. Ako se i radi o lokacijama na istim nadmorskim visinama, vrijednosti najmanjih temperatura značajno ovise o ekspoziciji terena, o tome rada li se o udolinama u kojima se pojavljuju jaka mrazišta ili su na otvorenom terenu gdje ne dolazi do jakih noćnih hlađenja. Posljedice takvih djelovanja na pojavu najmanjih temperatura zraka na nekim lokacijama u pojedinoj zoni rezultirale su napomenama o nekim odstupanjima pojave najmanje temperature od proračunate karakteristične najmanje temperature prema vertikalnom gradijentu za tu zonu.

Regresijski pravci odnosa najmanje temperature zraka T_{min50} i nadmorske visine te vrijednosti procijenjenih

Slika 4. Klimatske zone najmanje temperatura zraka T_{min50} , razdoblje 1961.-1990.



Slika 5. Vertikalni gradijenti minimalne temperature zraka T_{min50} , razdoblje 1961.-1990.

najmanjih temperatura zraka za povratno razdoblje 50 godina na meteorološkim postajama, prikazani su na slici 5.

Analizom dobivenih linearnih veza najmanje temperature zraka T_{min50} i nadmorske visine h , te grafičkih prikaza tih regresijskih pravaca i odnosa položaja procijenjenih najmanjih temperatura zraka T_{min50} na raspoloživim lokacijama u odnosu prema proračunanom pravcu, mogu se izvesti dalje navedeni zaključci za područje Hrvatske s obzirom na zone.

Vertikalni gradijenti najmanjih temperatura zraka T_{min50} daju posebno obilježje pojedinoj zoni i zajedno s baznim potencijalom određuju očekivane vrijednosti najmanjih temperatura na pojedinim nadmorskim visinama. Bazni temperaturni potencijal označava onu najmanju temperaturu zraka T_{min50} koja bi se mogla očekivati u svakoj pojedinoj zoni na razini mora (0 m nm).

S obzirom na vertikalne gradijente na području Hrvatske ističu se dvije grupe zona najmanjih temperatura zraka

T_{min50} . Prve dvije zone pokrivaju unutrašnjost Hrvatske: planinsko i ravničarsko područje. Za ove krajeve karakteristične su zimske magle i jaka hlađenja te pojava nižih najmanjih temperatura zraka na nižim nego na višim nadmorskim visinama. Ovo rezultira pozitivnim gradijentom najmanje temperature zraka T_{min50} , tj. njezinim porastom s nadmorskom visinom. U zoni II. za područje Gorskog kotara treba istaknuti lokalne specifičnosti koje se tiču pojava najmanjih temperatura u udolinama i na grebenima. Za takve lokacije treba proračunate vrijednosti za danu nadmorsku visinu iz linearne regresije korigirati i to tako da ako se radi o udolinama one će biti hladnije 7°C na visinama oko 900 m odnosno 9°C na visinama približno 750 m. U slučaju otvorenih lokacija (grebena) one će biti toplije 5°C na visinama oko 850 m odnosno 6°C na visinama oko 650 m. Bazni potencijal najmanjih temperatura zraka T_{min50} , odnosno njihove vrijednosti na razini mora u cijeloj su kontinentalnoj Hrvatskoj podjednake (otprilike -26°C), i daleko niže od vrijednosti priobalnog područja i dalmatinskog zaleđa.

Nasuprot prvim dvjema zonama s kontinentalnim režimom najmanjih temperatura, na otocima, priobalju i priobalnim obroncima planina (zone IV. i V.) u hladnom dijelu godine jest velik zagrijavajući utjecaj mora, ali koji s visinom brzo slabi. To se očituje u vrijednostima baznog potencijala najmanjih temperatura T_{min50} koje su mnogo više nego u unutrašnjosti ($-9,1^{\circ}\text{C}$ u zoni IV. – priobalje i $-5,3^{\circ}\text{C}$ u zoni V. - otoci) te u velikom negativnom gradijentu najmanje temperature, tj. u brzom opadanju najmanjih temperatura T_{min50} s visinom ($-0,9^{\circ}\text{C}$ na 100 m u zoni IV. i $-1,2^{\circ}\text{C}$ na 100 m u zoni V.).

U zoni III. (unutrašnjost Istre) i zoni VI. (dalmatinsko zaleđe) također je prisutan negativni gradijent najmanje temperature T_{min50} , ali daleko slabiji ($-0,6^{\circ}\text{C}$ u unutrašnjosti Istre odnosno $-0,4^{\circ}\text{C}$ u dalmatinskom zaleđu) nego na obali. Obje zone imaju podjednake vrijednosti najmanjih temperatura T_{min50} na visini 0 m nm od oko -16°C .

U većim urbanim sredinama može se očekivati utjecaj toplinskog otoka grada, dakle više najmanje temperature zraka nego što se pojavljuju na periferiji grada ili u ruralnom području. Ova pojava evidentna je iz podataka meteoroloških mjerenja na zagrebačkom području, gdje se jedino obavlja više mjerenja na području jednog grada u Hrvatskoj. Ustanovljeno je da se prema podacima meteorološke postaje Zagreb-Grič na Gornjem gradu, u središtu grada mogu očekivati najmanje temperature T_{min50} više 8°C u odnosu prema proračunanoj vrijednosti za istu nadmorsku visinu u zoni I. Utjecaj izgrađenih gradskih površina u hrvatskim gradovima na najmanje temperature ne može se utvrditi prema postojećim mjerenim meteorološkim podacima, ali se može očekivati, naročito s daljnjom izgradnjom.

Iz linearnih odnosa najmanje temperature zraka T_{min50} i nadmorske visine može se proračunati očekivana T_{min50} za lokaciju na kojoj se planira izgradnja neke građevine, nadmorska visina koje se poznaje, a čija je pripadna zona određena iz karte (slika 4.).

Ako se u novim hrvatskim normama daje prednost tabličnim prikazima karakterističnih najmanjih temperatura zraka T_{min50} po pojedinim zonama, slijedi prikaz karakterističnih najmanjih temperatura zraka T_{min50} ($^{\circ}\text{C}$) za svakih 100 m nadmorske visine po zonama za Hrvatsku (tablica 5.).

Tablica 5. Karakteristične najmanje temperature zraka T_{min50} za svakih 100 m nadmorske visine po zonama za Hrvatsku.

h [m]	Zona					
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
0	-26,3	-26,5	-16,3	-9,1	-5,3	-15,9
100	-25,6	-26,4	-16,8	-10,1	-6,5	-16,3
200	-24,8	-26,3	-17,4	-11,0	-7,7	-16,8
300	-24,0	-26,1	-18,0	-12,0	-8,9	-17,2
400	-23,2	-26,0	-18,5	-12,9	-10,1	-17,6
500	-22,4	-25,9	-19,1	-13,8	-11,3	-18,1
600	-21,7	-25,8	-19,6	-14,8	-12,5	-18,5
700	-20,9	-25,7	-20,2	-15,7	-13,7	-19,0
800	-20,1	-25,5	-20,8	-16,7	-14,9	-19,4
900	-19,3	-25,4	-21,3	-17,6		-19,8
1000	-18,5	-25,3	-21,9	-18,5		-20,3
1100	-17,8	-25,2	-22,4	-19,5		-20,7
1200	-17,0	-25,1	-23,0	-20,4		-21,2
1300		-24,9	-23,6	-21,4		-21,6
1400		-24,8	-24,1	-22,3		-22,0
1500		-24,7		-23,2		-22,5
1600		-24,6		-24,2		-22,9
1700		-24,5		-25,1		-23,4
1800				-26,1		-23,8

Napomene:
 Zona II. Udoline hladnije 7°C na oko 900 m nm do 9°C na otprilike 750 m nm.
 Grebeni topliji 5°C na približno 850 m nm do 6°C na oko 650 m nm.

5 Povratno razdoblje koji je različit od 50 godina (prema EC 1991-2-5:1997)

Ako se u normama želi usvojiti povratno razdoblje koje je različito od 50 godina, ekstremne vrijednosti temperatura zraka potrebno je korigirati.

Na primjer za Veliku Britaniju određeni su izrazi za vrijednosti apsolutne najveće i najmanje temperature zraka

u hladovini za povratna razdoblja koja su različita od 50 godina i izraženi pomoću vrijednosti 50-godišnjih procjena. Izrazi se temelje na razdiobi ekstremnih vrijednosti tipa I (Gumbelova razdioba):

$$T_{max,T} = T_{max,50} \left\{ k_1 - k_2 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (7)$$

$$T_{min,T} = T_{min,50} \left\{ k_3 - k_4 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \quad (8)$$

gdje je

$T_{max,T}$ ($T_{min,T}$) - vrijednost maksimuma (minimuma) temperature zraka za povratno razdoblje od T godina

$T_{max,50}$ ($T_{min,50}$) - vrijednost maksimuma (minimuma) temperature zraka za povratno razdoblje od 50 godina

T - povratno razdoblje maksimuma (minimuma) temperature zraka u godinama.

$$k_1 = (x_o \alpha) / \{(x_o \alpha) + 3.902\} \quad (9)$$

$$k_2 = 1 / \{(x_o \alpha) + 3.902\} \quad (10)$$

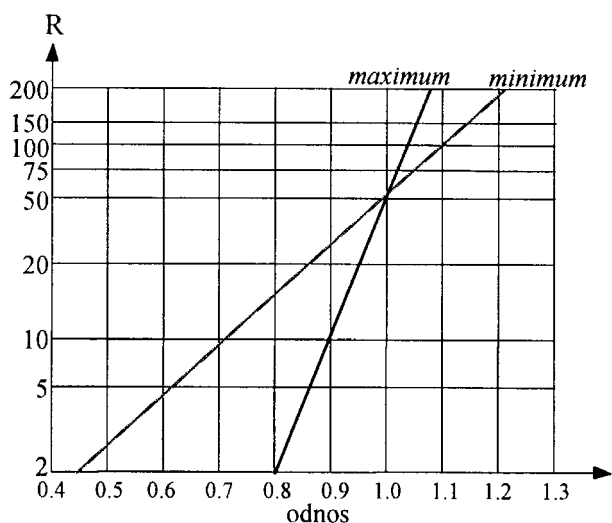
gdje su x_o i α parametri lokacije i nagiba u razdiobi godišnjeg maksimuma temperature zraka.

$$k_3 = (x_o \alpha) / \{(x_o \alpha) - 3.902\} \quad (11)$$

$$k_4 = 1 / \{(x_o \alpha) - 3.902\} \quad (12)$$

gdje su x_o i α parametri lokacije i nagiba u razdiobi godišnjeg minimuma temperature zraka.

Vrijednosti koeficijenata k_1 , k_2 , k_3 i k_4 trebaju se temeljiti na vrijednostima x_o i α za pojedine zemlje. Ako takvih



Slika 6. Omjeri $T_{max,R} / T_{max,50}$ i $T_{min,R} / T_{min,50}$

podataka nema mogu se koristiti vrijednosti usvojene za Veliku Britaniju:

$$k_1 = 0,781$$

$$k_2 = 0,056$$

$$k_3 = 0,393$$

$$k_4 = -0,156.$$

Sa slike 6. mogu se očitati omjeri $T_{max,R}/T_{max,50}$ i $T_{min,R}/T_{min,50}$ odnosno odrediti očekivana najveća i najmanja temperatura zraka za povratno razdoblje koje je različito od 50 godina.

6 Zaključak

Rezultati su pokazali veliku temperaturnu raznolikost Hrvatske što se tiče ekstremnih temperatura zraka i potvrda su potrebe određivanja nacionalnih meteoroloških podloga za definiranje novih hrvatskih norma u segmentu djelovanja na građevine.

Zoniranje Hrvatske za najveće temperature zraka s povratnim periodom od 50 godina (T_{max50}) istaknulo je pet zona. Njihovi vertikalni gradijenti ukazuju pad T_{max50} s visinom u svim zonama osim u zoni IV. (dalmatinski otoci), gdje postoji vrlo slab gradijent u smislu porasta T_{max50} . Njihove se vrijednosti kreću od $-0,48^\circ\text{C}/100\text{m}$ do $-0,70^\circ\text{C}/100\text{m}$, odnosno $+0,16^\circ\text{C}/100\text{m}$. Vrijednosti baznog potencijala T_{max50} , tj. one koje se mogu očekivati na 0 m nm u pojedinoj zoni nalaze se u intervalu od $36,4^\circ\text{C}$ do $41,9^\circ\text{C}$. Razlike u baznom potencijalu T_{max50} između susjednih zona iznose između $0,8^\circ\text{C}$ i $3,3^\circ\text{C}$.

Zoniranje Hrvatske za najmanje temperature zraka s povratnim razdobljem od 50 godina (T_{min50}) rezultiralo je sa šest zona. Njihovi vertikalni gradijenti pokazuju porast T_{min50} s visinom u dvije zone koje pokrivaju unutrašnjost Hrvatske tj. ravničarsko i planinsko područje i njihove vrijednosti iznose $+0,78^\circ\text{C}/100\text{m}$ i $+0,12^\circ\text{C}/100\text{m}$. U preostale četiri zone postoji pad T_{min50} s visinom i ti vertikalni gradijenti se kreću od $-0,44^\circ\text{C}/100\text{m}$ do $-1,20^\circ\text{C}/100\text{m}$. Vrijednosti baznog potencijala T_{min50} , tj. one koje se mogu očekivati na 0 m nm u pojedinoj zoni nalaze se u intervalu od $-26,5^\circ\text{C}$ do $-5,3^\circ\text{C}$. Najveća razlika u baznom potencijalu T_{min50} između dviju susjednih zona jest $17,4^\circ\text{C}$, a najmanja $0,2^\circ\text{C}$.

Ako dobivene razlike između pojedinih zona nisu značajne u graditeljstvu što se tiče termičkog djelovanja na građevine, zone se mogu spojiti, ali samo ako je to fizikalno opravdano. U tom slučaju nužno je odrediti novi vertikalni gradijent za svaku novodefiniranu zonu i prema njemu proračunati ekstremne temperature zraka za povratno razdoblje od 50 godina na pojedinim nadmorskim visinama.

Na temelju dobivenih podataka može se primijeniti ENV 1991-2-5:1997 u kojem su preporuke posebno za zgrade, mostove, dimnjake i cjevovode. Različiti nacionalni dokumenti daju različite prikaze ekstremnih temperatura zraka. Ti prikazi mogu biti vrlo jednostavni kao što je na primjer prikaz Njemačke, gdje se daje najmanja temperatura $-24\text{ }^{\circ}\text{C}$ i najveća $+37\text{ }^{\circ}\text{C}$.

U ovome radu ekstremne temperature prikazane su prema zonama iako su razlike za pojedine zone vrlo male. Tamo gdje temperatura ima veliki utjecaj na konstrukcijski element, takav prikaz je opravdan. Međutim, za konstrukcijske elemente koji nisu osjetljivi na promjenu temperature projektanti mogu pri proračunu uzeti samo ekstremne vrijednosti, i to $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $+42\text{ }^{\circ}\text{C}$.

LITERATURA

- [1] ENV 1991-2-5:1997: Basis of design and action on structure - Actions on structures – Thermal actions, 65. str.
- [2] Jenkinson, A. F.: *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements*. Quart. J. R. Met. Soc. 87, 1955., 158.-171.
- [3] Jenkinson, A. F.: *Statistics of Extremes, Estimation of Maximum Floods*. World Meteorological Organisation, Geneva, WMO Technical Note No. 98, Chapter 5., 1969.
- [4] Jenkinson, A. F.; Jackson, M. P.: *Flood Studies Report*, Volumes II and III (diagrams). Natural Environment Research Council, London, 1975.
- [5] Jenkinson, A. F.: *The Analysis of Meteorological and Other geophysical Extremes* (nepublicirano). Met O. 13, Technical Note No. 58, 1977. 68. str.
- [6] Gumbel, E. J.: *Statistics of extremes*. Columbia Univ. Press, New York, 1958.
- [7] Faragó, T.; Katz, R. W.: *Extremes and Design Values in Climatology*, World Meteorological Organisation, WMO/TD-NO. 386, WCAP - 14, 1990., 46. str.
- [8] Pleško, N.: *Razdioba maksimalnih godišnjih temperatura na području hrvatske*, magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, 1976., 107. str.
- [9] Bajić, A.: *Prilog poznavanju maksimalnih temperatura zraka na Jadranu*. Pomorski zbornik, 24, 1986. 407.-427.
- [10] Gajić-Čapka, M.: *Ekstremne meteorološke prilike na lokaciji nuklearne elektrane*. Energija, 34, (1), Časopis elektroprivrednih organizacija Hrvatske, Zagreb, 1985., 13.-20.
- [11] Fréchet, M.: *Sur la loi de probabilité de l'écart maximum*. Ann. de la Soc. polonaise de Math, Cracow, 1927., 6, 93

Slika 3. Vertikalni gradijenti najveće temperature zraka T_{max50} . Na ovoj je slici prikazano pet grafikona na kojima su nacrtani regresijski pravci koji su dobiveni interpolacijom vrijednosti odnosa između najvećih temperatura zraka koje se mogu očekivati jednom u 50 godina i nadmorske visine, za razdoblje 1961.-1990.