UVOD

Investitor, OBČINA KOČEVJE, Ljubljanska cesta 26, 1330 Kočevje, namerava na strehi objekta Podjetniški inkubator Kočevje na naslovu TRATA IV 6A, 1330 Kočevje, postaviti fotovoltaično elektrarno kot proizvodno napravo nazivne moči 64,40 kW.

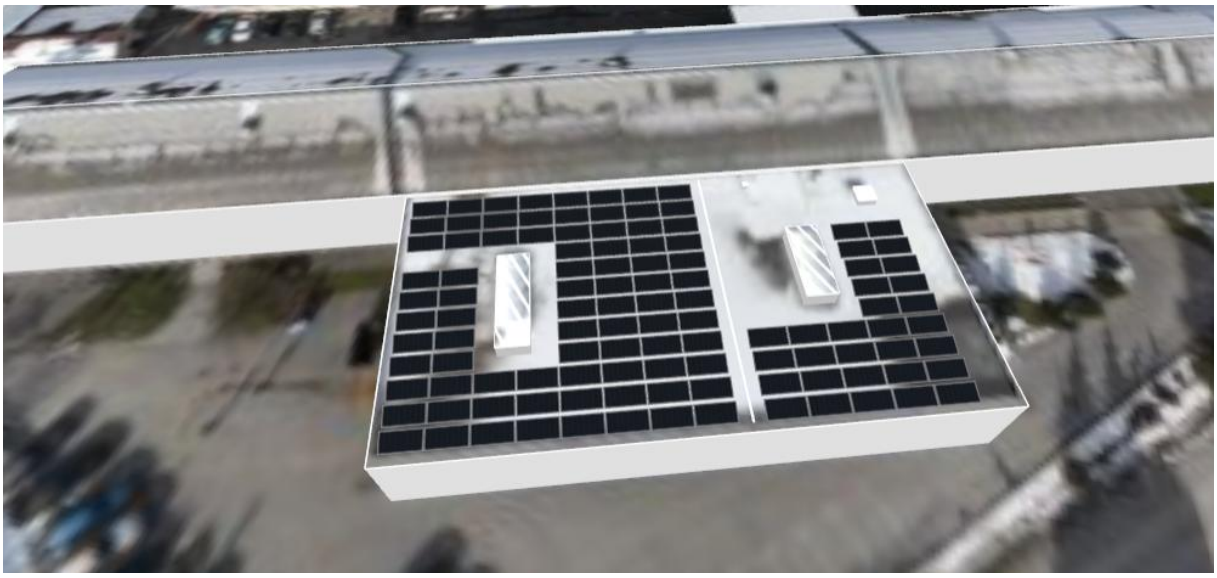
Osnovne karakteristike proizvodne naprave FE HEE TRATA 2;

- naziv proizvodne naprave: FE HEE TRATA 2
- št. PV modulov: 112
- nazivna moč modula: 575Wp
- št. optimizatorjev moči: 0
- nazivna moč optimizatorjev:
- št. razsmernikov: 2
- nazivna moč razsmernika: 30 kW
- nazivna moč elektrarne: 112 x 0,575kW = 64,40 kW, omejeno na razsmerniku za oddajo v omrežje na 42,4 kW

Proizvodna naprava bo sestavljena iz generatorja (PV moduli) na strehi objekta in ustreznih razsmernikov (inverterjev), t.j. naprav za pretvarjanje enosmernega električnega toka v izmeničnega ter pripadajočih kabelskih povezav.

V predmetnem mnenju je podan tehnični izračun za lokacijo Podjetniški inkubator Kočevje, TRATA IV 6A, 1330 Kočevje v smislu **preverbe obstoječih gradbenih konstrukcij** ter morebiten predlog sanacije obstoječe strešne konstrukcije v primeru neustreznosti za izvedbo celovitega sistema posamezne FE HEE.

IZRIS POSTAVITVE PANELOV NA OBJEKT



OPIS

Investitor predvideva postavitev sončne elektrarne na streho objekta.

OPIS OBSTOJEČEGA OBJEKTA

Streha je v ravna, katere dimenzija (razponi) sledi tlorisu stavbe. Sestava strehe sestoji iz betonske plošče, toplotno izolacije in hidroizolacijske folije.

OPIS MOREBITNIH DODATNIH UKREPOV

Zaradi omejitev pri ogledu objekta, je nemogoče z gotovostjo trditi, da je vgrajena nosilna konstrukcija strehe, kot je razvidno iz obstoječe PID dokumentacije, kar je možno preveriti z odpiranjem kritine strehe.

GEOMETRIJA IN OBTEŽBE

Geometrija in obtežbe so razvidne iz statičnega izračuna obtežb v prilogi tega dokumenta.

PRITRJEVANJE IN POSTAVITEV FE PANELOV

Vgradnja panelov skladno s predvideno postavitvijo ne obremenjuje strešne konstrukcije prekomerno, da bi bilo potrebno pred vgradnjo izvesti morebitne ukrepe v ojačitev nosilne strešne konstrukcije in je skladno s statičnim izračunom, ki je podan v prilogi tega dokumenta.

ZADRŽEK MNENJA

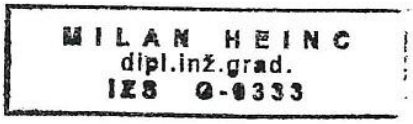
Ker v času izdelave tega mnenja ni bilo mogoče fizično preveriti stanje strešne konstrukcije, podajamo zadržek pred izvedbo vgradnje FEE.
Naknadno je potrebno pridobiti poročilo o stanju strešne konstrukcije oz. ugotovitev, da je konstrukcija skladna z gradbenim projektom PID objekta.

Pripravil:

Dr. Dimitrij Najdovski

Odgovorni projektant:
Milan Heinc, dipl.inž.gradb., IZS-PI-G-0333





X4DATA

Likozarjeva ulica 6, SI-1000 Ljubljana
041 752285

PROJEKTNA NALOGA: 45-020825 DATE: 08.02.2025

PROJEKTNA NALOGA

ANALIZA OBREMENITEV STREŠNIH KONSTRUKCIJ OBJEKTOV V OBČINI KOČEVJE
ANALIZA STREŠNIH KRITIN PREKRITIH S PHOTOVOLTAIČNIMI PANELI

- PRIMERJAVA OBREMENITEV STREHE S SNEGOM, PREKRITE S PV PANELI
  EN 1991-1-3: 2003: Roof snow load in prEN 1991-1-3: 2020: Roof snow load

- CFD ANALIZA OBREMENITVE VETRA STREŠNIH POVRŠIN OBJEKTOV
  EN 1991-1-4 Wind Load

Ljubljana, 08.02.2025
dr. Dimitrij Najdovski



Contents

Obtežba snega: 3
Obtežba snega na strehi za trajna/začasna stanja 3
Koeficient izpostavljenosti Ce 3
Oblikovni koeficient strehe 3
Karakteristična vrednost obtežbe snega 4
Obtežba z vetrom 8
CFD analiza obremenitve strešnih površin pri strujanju vetra v_b = 20 m/s 12
CFD analiza: prostorsko strujanje vetra 13
CFD analiza: strujanje vetra v preseku objekta upravne stavbe občine Kočevje 14
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka v preseku objekta upravne stavbe občine Kočevje 15
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje ...16
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje ...17
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje ...18
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta stavbe vrtec Čebelica 19

Obtežba snega:

Obtežbo snega upoštevamo kot spremenljivo nepomično obtežbo.
Na porazdelitev snega vplivajo lastnosti strehe ter drugi dejavniki kot so:

- oblika strehe,
- toplotne lastnosti strehe,
- hrapavost površine strehe,
- količina toplote, generirane pod streho,
- sosednje stavbe,
- teren v okolici stavbe in
- krajevne podnebne razmere, zlasti prevetrenost, temperaturne spremembe in verjetnost padavin (tako dežja kot snega).

Obtežbo snega določimo skladno z določili standarda SIST EN 1991-1-3:2004.

Obtežba snega na strehi za trajna/začasna stanja

Obtežbo snega izračunamo z izrazom:

$$s = \mu_i \times C_e \times C_t \times s_k$$

kjer so:

s	obtežba snega v kN/m^2
μ_I	oblikovni koeficient obtežbe snega
C_e	koeficient izpostavljenosti
C_t	toplotni koeficient
s_k	karakteristična vrednost snega na tleh

Koeficient izpostavljenosti Ce uporabljamo za določitev obtežbe snega na strehi. Pri zbirni vrednosti C_e upoštevamo prihodnje stanje okoli objekta. V kolikor predpostavimo običajno obliko terena, kjer veter ne prenaša snega na objekt, lahko upoštevamo za koeficient izpostavljenosti C_e = 1.0.

S Toplotnim koeficientom Ct upoštevamo zmanjšanje obtežbe snega pri strehah z veliko toplotno prevodnostjo (> 1 W/m^{2}K), zlasti pri steklenih strehah, kjer se sneg topi zaradi toplotnih izgub (primer photovoltaični paneli). Za vse druge primere pa velja C_t=1.0.

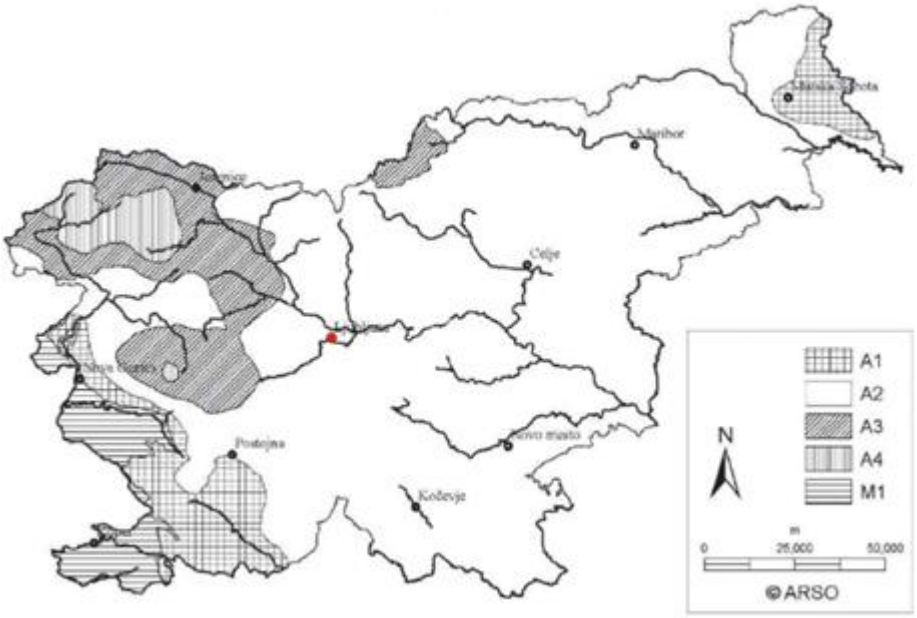
Oblikovni koeficient strehe je faktor, s katerim upoštevamo vpliv naklona in oblike strehe na velikost obtežbe snega. Pri dvokapnih strehah oblikovni koeficient določa naslednja preglednica.

Nagib strehe α	$0^o \le \alpha \le 30^o$	$30^o < \alpha < 60^o$	$\alpha \ge 60^o$
μ_1	0,8	0,8 (60 - α) / 30	0,0
μ_2	0,8 + 0,8 α / 30	1,6	-

Oblikovna koeficienta obtežbe snega

Vrednosti, podane v preglednici veljajo, če sneg lahko zdrsne s strehe. Če so na strehi snegobrani ali druge ovire ali če se nagib strehe zmanjša zaradi parapetov, oblikovni koefiecient ne sme biti manjši od 0.8.

Karakteristična vrednost obtežbe snega je v Sloveniji določena glede na območje in nadmorsko višino.



Področja (cone) za določanje obtežbe s snegom na tleh

cona	s_k [kPa]
A1	$0{,}651\left[1+\left(\frac{A}{728}\right)^2\right]$
A2	$1{,}293\left[1+\left(\frac{A}{728}\right)^2\right]$
A3	$1{,}935\left[1+\left(\frac{A}{728}\right)^2\right]$
A4	$2{,}577\left[1+\left(\frac{A}{728}\right)^2\right]$
M1	$0{,}289\left[1+\left(\frac{A}{452}\right)^2\right]$

Enačbe za računanje obtežbe snega na tleh v odvisnosti od nadmorske višine A

Objekti so locirani v Kočevju, v coni A2, na nadmorski višini A = 466 m. Karakteristična obtežba snega na tleh je:

$$s_k = 1.293 \left[1 + \left(\frac{466}{728}\right)^2\right] = 1.823\ kN/m^2$$

Osnutki različic prihodnje evrokode, npr. prEN 1991-1-3:2020, kažejo na premik koeficienta izpostavljenosti iz enačbe za obremenitev strehe s snegom v oblikovni koeficient μ_i, kjer je lahko prilagojeno obliki strehe. V okviru koeficienta oblike lahko koeficient izpostavljenosti C_e bolje kot prej prilagodimo zaradi prenosa snega zaradi vetra . Zato je ta oblika tudi uporablja se v standardu EN 13031-1:2019.

$$s = \mu_i \times C_t \times s_{k,n}$$

$s_{k,n}$ karakteristična obtežba snega za referenčno periodo

Da bi lahko uporabili toplotni koeficient Ct v skladu s Prilogo C k standardu EN 13031-1:2019 za zmanjšanje snežne obremenitve na strehah s photovoltaičnimi paneli je treba izpolniti pet zahtev:

1. Preglednost strešne kritine
Prva in osrednja zahteva za Ct <1 je preglednost strešne (in stenske) obloge. Preglednost sama po sebi ne prispeva k fizikalnih procesov taljenja snega.
Vendar pa je stranski učinek prozorne obloge ta, da sneg in led ostaneta vidna, kar omogoča odstranitev odvečnega snega ali, če to ni mogoče, evakuacijo območja. Tveganje je lahko je mogoče pod prozorno streho locirati in oceniti vizualno. To ni mogoče pri neprosojnih strehah.

2. Toplotna prepustnost kritine (toplotna prehodnost Uo ≥ 1 W/(m2K)
Spodnja meja Uo = 1 W/(m2K) je na splošno sprejeta kot zadostna za običajne stavbe, glej ISO 4355, Priloga D, enačba (D.2), EN 1991-1-3:2003, točka 5.2(8) in prEN 1991-1-3:2020, točka 7.4.
Če je obloga toplotno zaščitna, je treba upoštevati toplotno zaščito Uo ≥ 1 W/(m2K), ter je potrebno preveriti z izračunom ali preskusom, glej ISO 4355, EN 673, EN 674, EN 675, EN ISO 6946, EN ISO 10077-1 in EN ISO 10077-2.
To se lahko zahteva za večplastno steklo ali plastiko z odsevnimi plastmi, dodatki, površino strukture ali premazom. Vendar pa omejitev ni fizična omejitev. Sneg se topi tudi na strešnih površinah z Uo < 1 W/(m2K).
Termodinamične hitrosti taljenja so odvisne od produkta Uo x DT z gradientom DT med kontaktno temperaturo zraka θi in temperaturo taljenja snega okoli θsm = 0 °C.

3. Zadostno ogrevanje min θi >> 5 °C (kontaktna temperatura zraka pod streho)
Ker je taljenje snega odvisno tako od temperaturnega gradienta kot od Uo, je ta meja prav tako pomembna. Ogrevanje mora biti sposobno vzdrževati kontaktno temperaturo zraka θi pod streho med sneženjem in po njem, pri čemer je določena najnižja notranja temperatura zraka min qi precej nad 5 °C in po možnosti do 18 °C, dokler se sneg ne odstrani. To se imenuje nadzorovano ogrevanje.
pod streho.

Specifikacija min θi = 12 °C ali min θi = 18 °C je nacionalna izbira, ki je odvisna od snežne klime, obratovalnih izkušenj in tehnične opreme uporabnikov. Za značilnosti snežne obremenitve sk,50 nad 1,5 kN/m2 ali več kot 50 mm SWE (Snow-Water-Equivalent) novih snežnih padavin na dan, je priporočljivo ogrevanje z min θi = 18 °C, sicer je min θi =12 °C.

4. Neomejen odtok odtajane vode

Četrti pogoj za zmanjšanje obremenitve strehe s snegom je, da se lahko talilna voda odvaja hitro, brez nevarnosti nastanka poledice.

5. Dodatni varnostni ukrepi

Dodatne varnostne ukrepe je mogoče izbrati na nacionalni ravni. Photovoltaični paneli se lahko obravnavajo le kot ogrevani (uporaba Ct < 1), če je prisoten samodejni rezervni sistem, ki lahko prevzame ogrevanje, preden temperatura pade pod 5 °C. Ta mora vključevati sistem za izredne razmere električno napajanje. Kvalificiran nadzor podnebja in vremena z alarmnim sistemom mora biti na voljo, na primer s tako imenovanimi klimatskimi računalniki.

Pri ogrevanih photovoltaičnih panelih, opremljenih za nadzorovano taljenje strešnega snega, je toplotni koeficient Ct v skladu z ISO 4355, Priloga D, se lahko uporabi, dopolnjen z funkcijo manjkajočega strešnega kota f(α). Na varni strani se pri funkciji f(α) upošteva samo površina strehe.

$$\mathbf{C_t = \{\,1 - f\,(s_{k,n}) \cdot f\,(\theta_i) \cdot f\,(U_o)\,\} \cdot f\,(\alpha)}$$
$$\mathbf{C_t = \{1 - 0{,}054 \cdot (s_{k,n} / 3{,}5)^{1/4} \cdot (\theta_i - 5°C) \cdot [\sin((0{,}4 \cdot U_o - 0{,}1) \cdot 180°/\pi)]^{3/4}\} \cdot \cos(\alpha)}$$

- obtežba snega (korelirana s stopnjo snežnih padavin)

$$f(s_{k,n}) = 0.054\ x\ \left(\frac{S_{k,n}}{3.5}\right)^{\frac{1}{4}}$$

- kontaktna temperature zraka (ogrevanje)

$$f(\theta_i) = \theta_i - 5^o C$$

- toplotna prevodnost strehe

$$f(U_o) = \left[sin\left((0.4\ U_o - 0.1)\frac{180^o}{\pi}\right)\right]^{\frac{3}{4}}$$

- naklon strešne površine

$$f(\alpha) = cos(\alpha)$$

Toplotna prevodnost strehe

$$\min U_o = \mathbf{1\ W/(m^2K)} \leq U_o \leq \mathbf{4{,}177\ W/(m^2K)} = \max U_o$$

$s_{k,n}$	1.8228	kN/m^2			
$f(s_{k,n})$	0.0459				
θ_i	8	10	12	15	18
$f(\theta_i)$	3	5	7	10	13
U_o	W/(m^{2}K)				
	0.25	1.00	1.50	2.00	4.177
$f(U_o)$	0.0000	0.0195	0.0286	0.0367	0.0674
θ_i	12				
1-f($s_{k,n}$) $f(\theta_i)f(U_o)$	1.0000	0.9937	0.9908	0.9882	0.9784

naklon strehe	0°	$\leq \alpha \leq$	30°

Toplotni koeficient C_t					
15°	0.9659	0.9599	0.9571	0.9545	0.9450
20°	0.9397	0.9338	0.9311	0.9286	0.9194
25°	0.9063	0.9006	0.8980	0.8956	0.8867
30°	0.8660	0.8606	0.8581	0.8558	0.8473

obtežba snega	kN/m^2				
15°	1.4085	1.3997	1.3956	1.3919	1.3781
20°	1.3703	1.3617	1.3577	1.3541	1.3406
25°	1.3216	1.3133	1.3095	1.3060	1.2930
30°	1.2629	1.2550	1.2513	1.2480	1.2355

naklon strehe	30°	$< \alpha <$	60°

Toplotni koeficient C_t					
31°	0.8572	0.8518	0.8493	0.8471	0.8386
32°	0.8480	0.8427	0.8403	0.8380	0.8297
33°	0.8387	0.8334	0.8310	0.8288	0.8205
34°	0.8290	0.8239	0.8214	0.8193	0.8111
35°	0.8192	0.8140	0.8116	0.8095	0.8014

obtežba snega	kN/m^2				
31°	1.2083	1.2007	1.1972	1.1940	1.1821
32°	1.1542	1.1470	1.1436	1.1406	1.1292
33°	1.1007	1.0938	1.0906	1.0877	1.0769
34°	1.0477	1.0412	1.0381	1.0354	1.0251
35°	0.9954	0.9892	0.9863	0.9837	0.9739

Obtežba z vetrom

Veter je obtežba, ki se spreminja s časom. Deluje neposredno na zunanje in notranje površine objekta. Njegov vpliv upoštevamo kot nepomični vpliv.

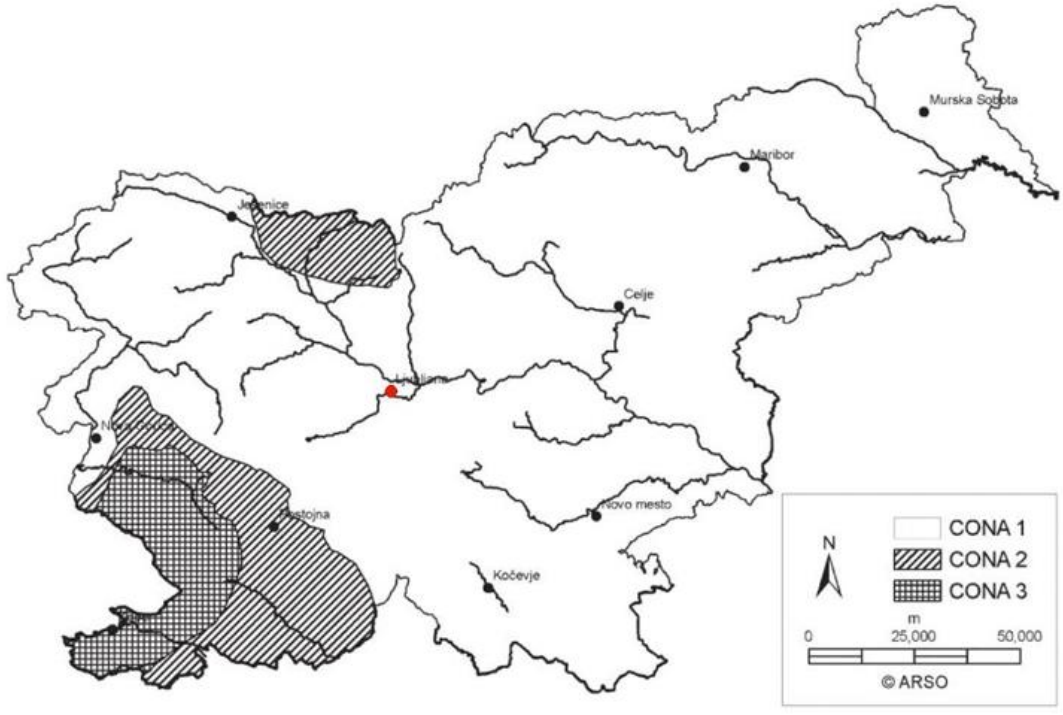
- Osnovna hitrost vetra

$$v_b = c_{dir}\, c_{season}\, v_{b,0}$$

$c_{dir} = 1$
$c_{season} = 1$

Temeljne vrednosti osnovne hitrosti vetra vb,0

cona	opis	nadmorska višina [m]	$v_{b,0}$ [m/s]
1	večina Slovenije	pod 800	20
		800 – 1600	25
		1600 – 2000	30
		nad 2000	40
2	Trnovski gozd, Notranjska, Karavanke	pod 1600	25
		1600 – 2000	30
		nad 2000	40
3	Primorje, Kras in del Vipavske doline	–	30



Slika 3 Cone z enakimi vrednostmi osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$.

- Koeficient zunanjega pritiska na streho

$$v_m(z) = c_r(z)\, c_o(z)\, v_b$$

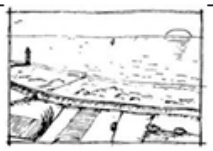
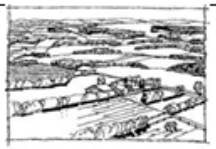
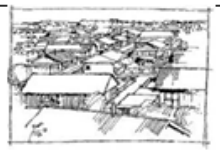
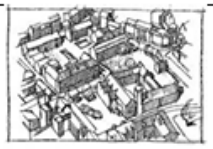
$c_o(z) = 1$ koeficient orografije
$c_r(z)$ koeficient hrapavosti terena

- $c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \qquad z_{min} \leq z \leq z_{max}$

$$k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07}$$

$$z_0 = z_{0,II} = 0.05m \Rightarrow k_r = 0.19$$

- Kategorija hrapavosti terena (SIST EN 1991-1-4:2005

kategorija terena			z_0	z_{min}
0		morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju	0,003	1
I		jezersko ali ravninsko področje, z zanemravljivim rastlinjemin brez ovir	0,01	1
II		področje z nizkim rastlinjem, travo, in posameznimi ovirami, drevesi, stavbami, na razdalji najmanj 20 višin ovir	0,05	2
III		področje z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami, na razdalji najmanj 20 višin ovir – vasi, podeželjsko okolje, stalni gozd	0,3	5
IV		področje, kjer je najmanj 15% površine pokrite s stavbami, s povprečno višino več kot 15 m	1,0	10

- Karakteristični največji tlak pri sunkih vetra q_p

Karakteristični največji tlak pri sunkih vetra q_p je tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra na višini z

$$q_p(z) = \left[1 + 7 \cdot I_v(z)\right] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) ,$$

- Intenziteta turbolence I_v

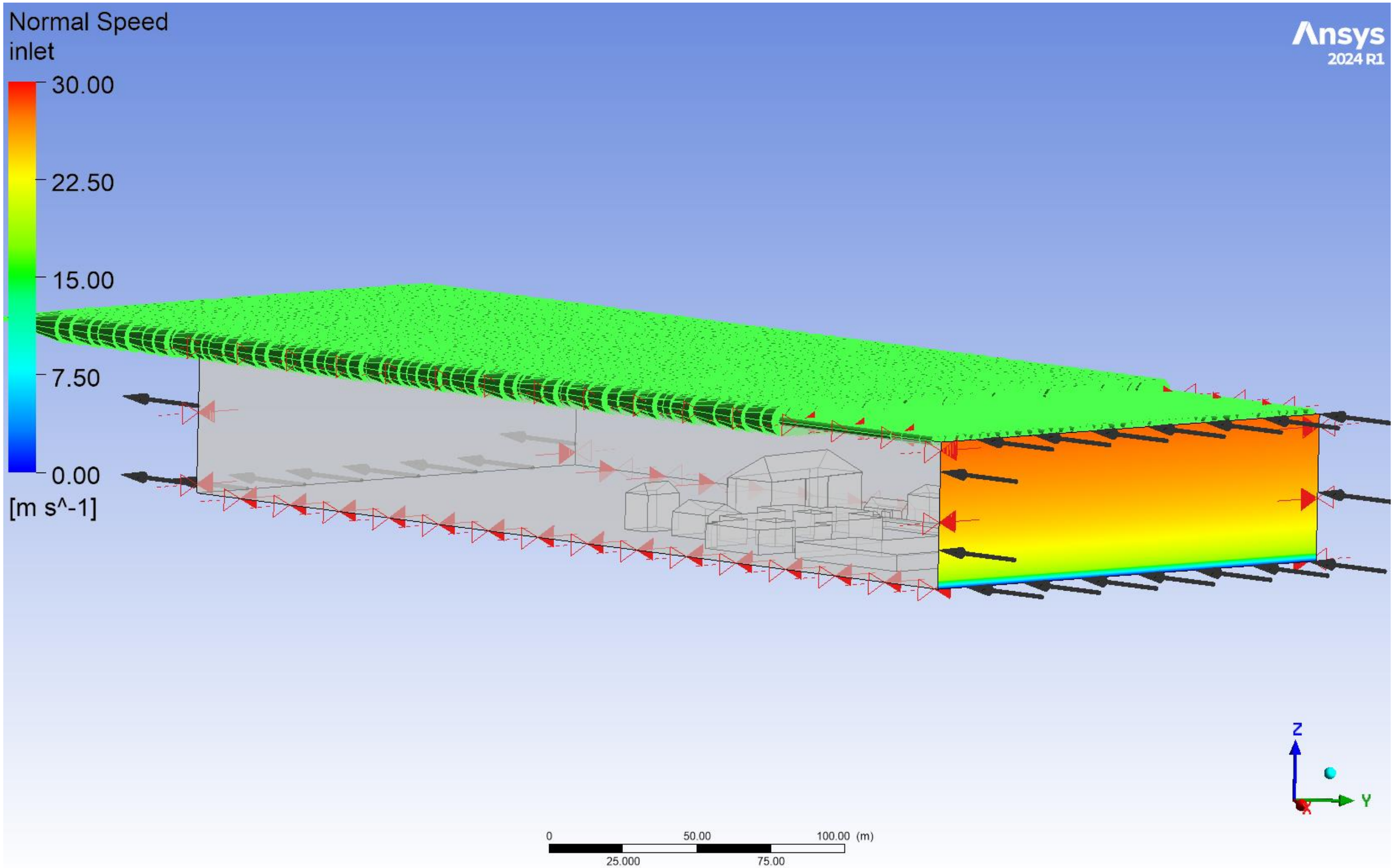
$$I_v(z) = \begin{cases} \dfrac{\sigma_v}{v_m(z)} = \dfrac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln \dfrac{z}{z_0}} & z_{min} \le z \le z_{max} \\ I_v(z_{min}) & z \le z_{min} \end{cases} =$$

σ_v standardna deviacija turbolence, ki jo določimo po enačbi

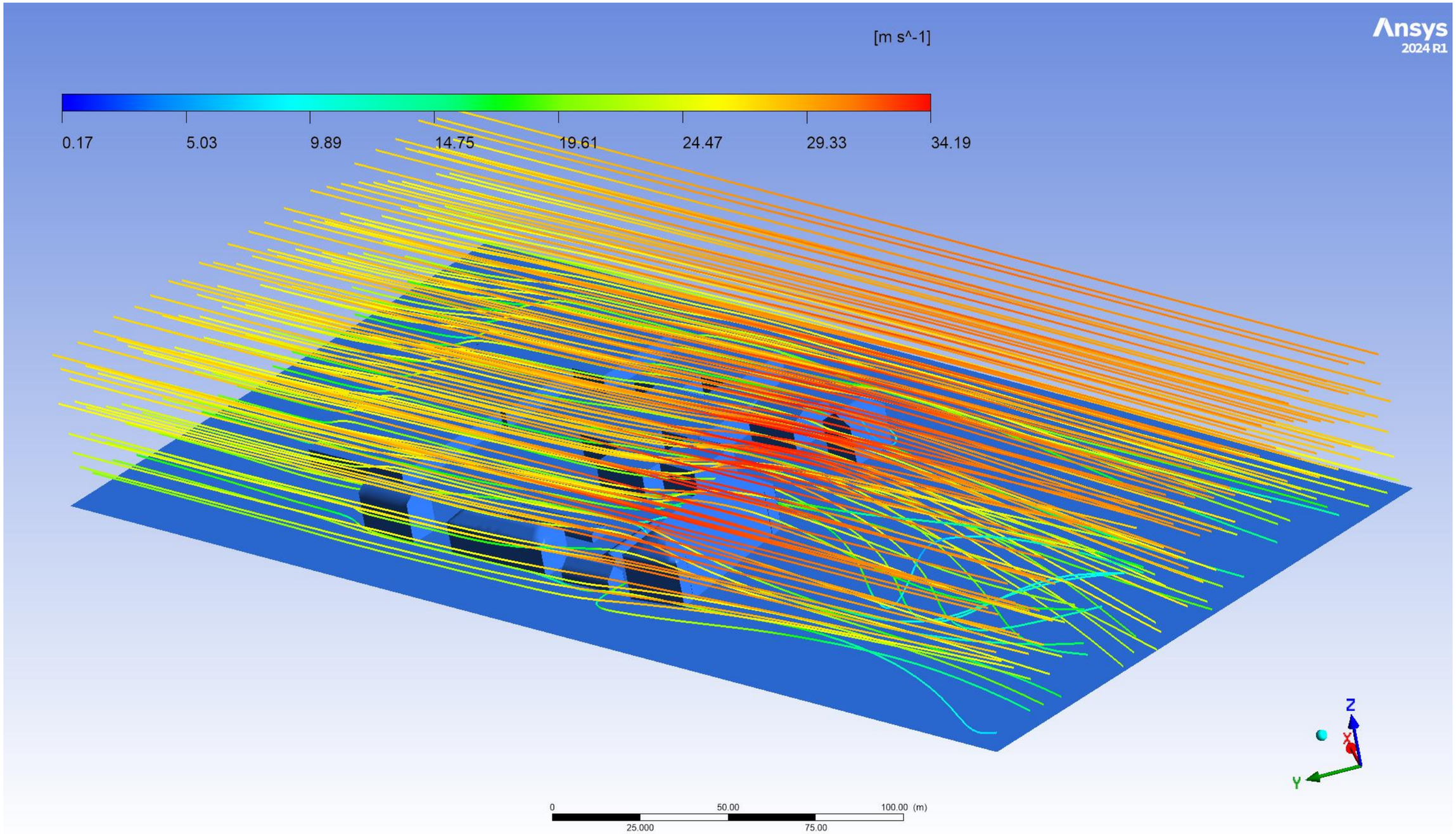
$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_I =$$



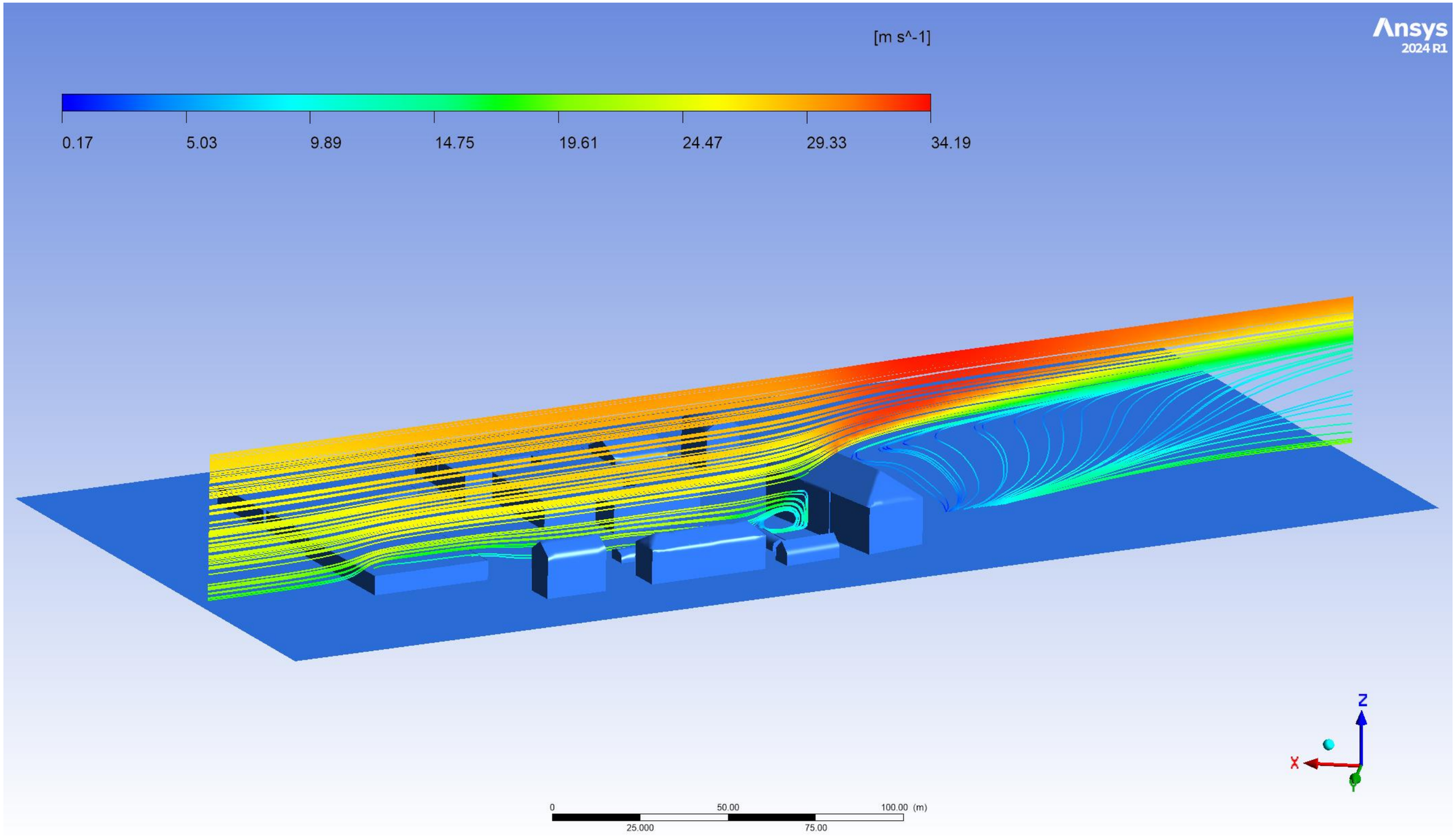
CFD analiza obremenitve strešnih površin pri strujanju vetra v_b = 20 m/s



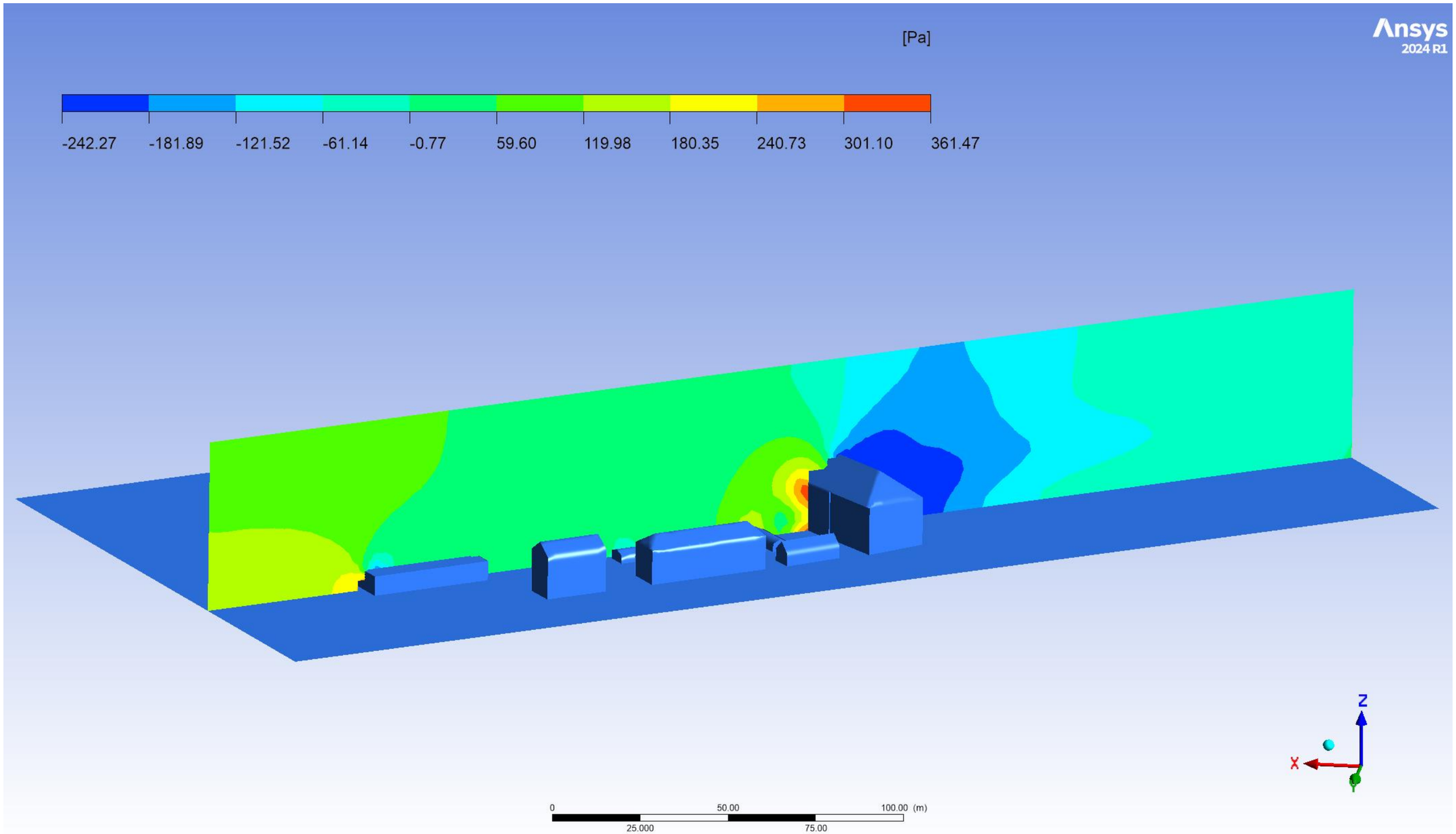
CFD analiza: prostorsko strujanje vetra



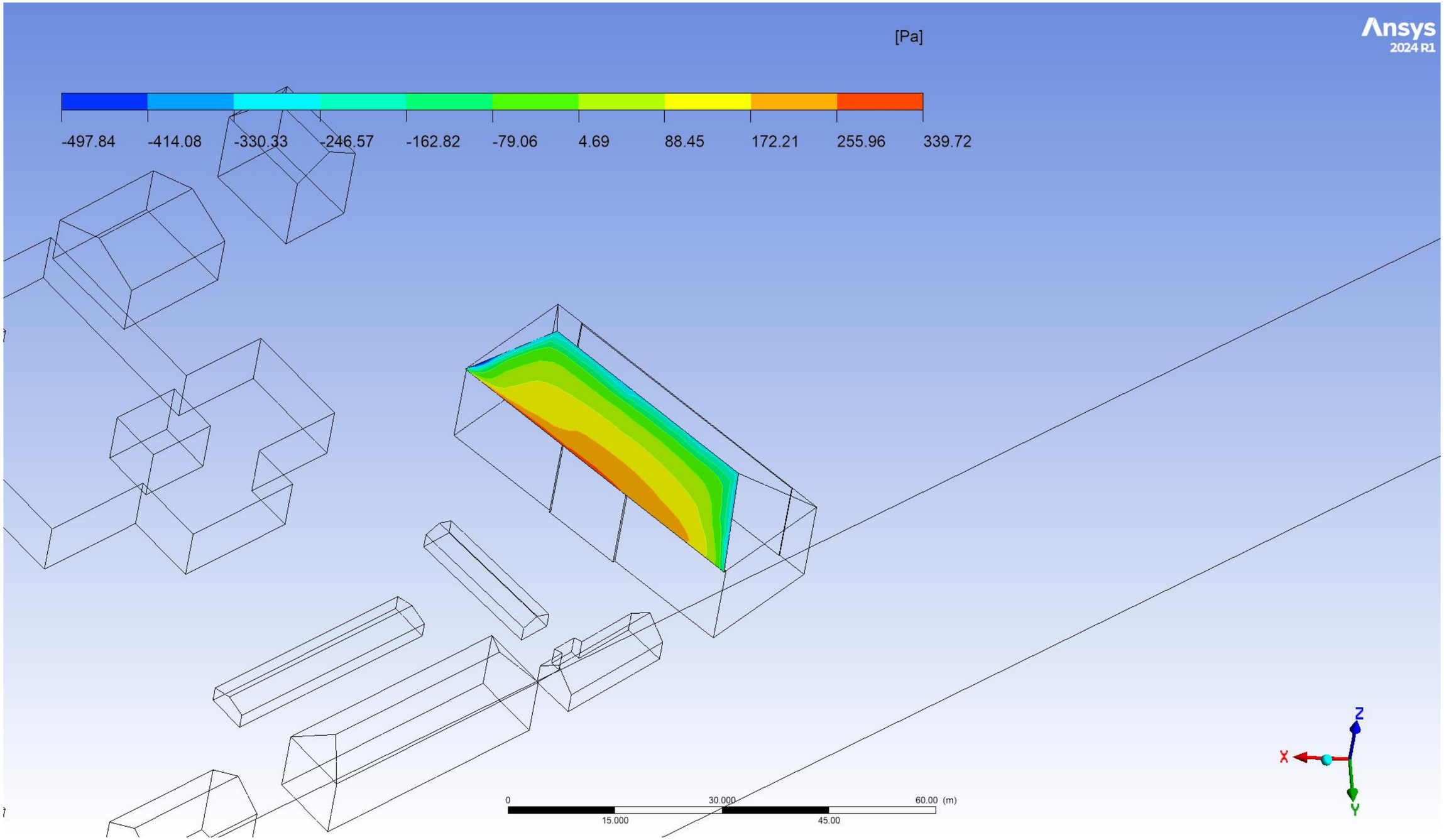
CFD analiza: strujanje vetra v preseku objekta upravne stavbe občine Kočevje



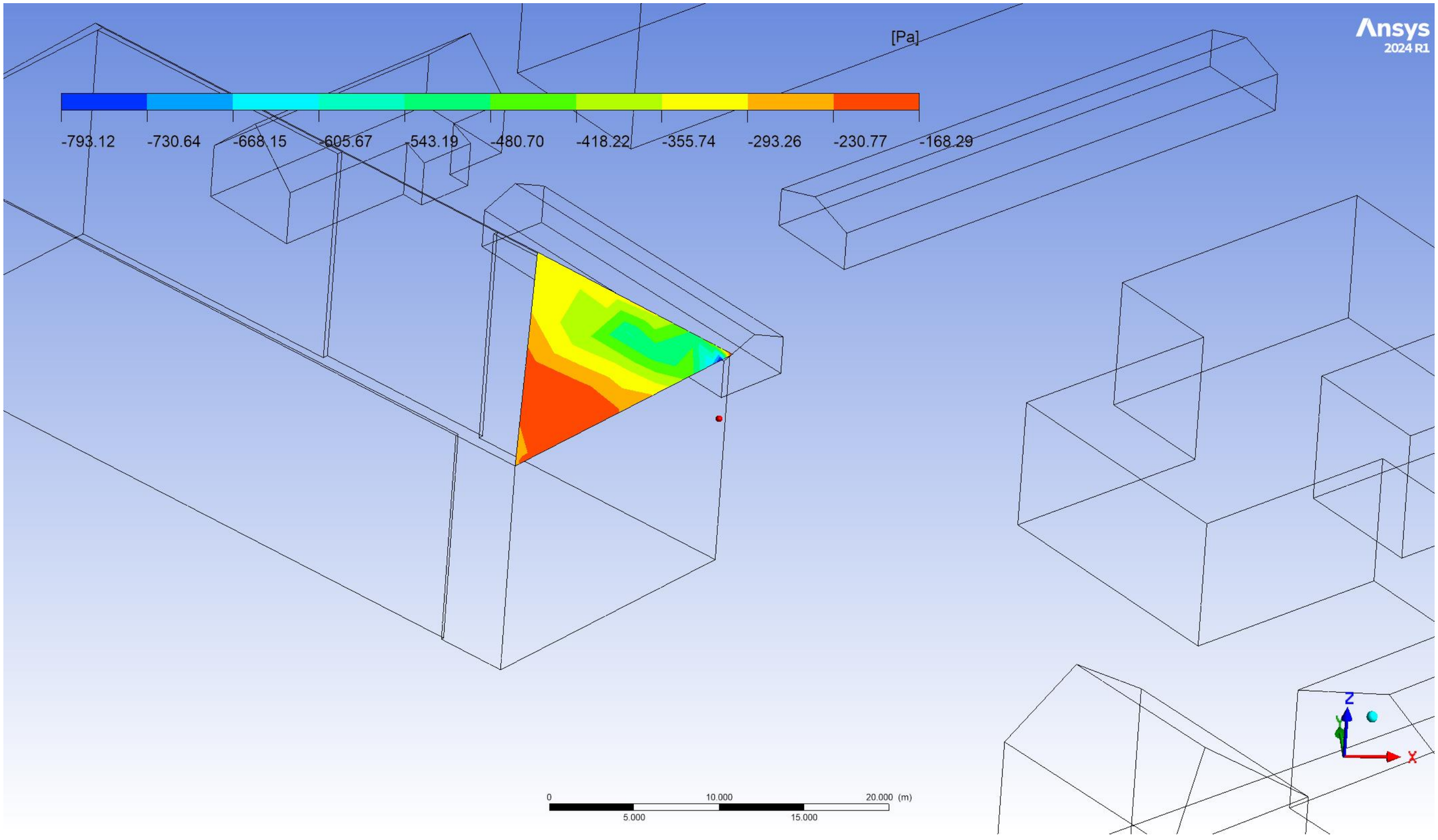
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka v preseku objekta upravne stavbe občine Kočevje



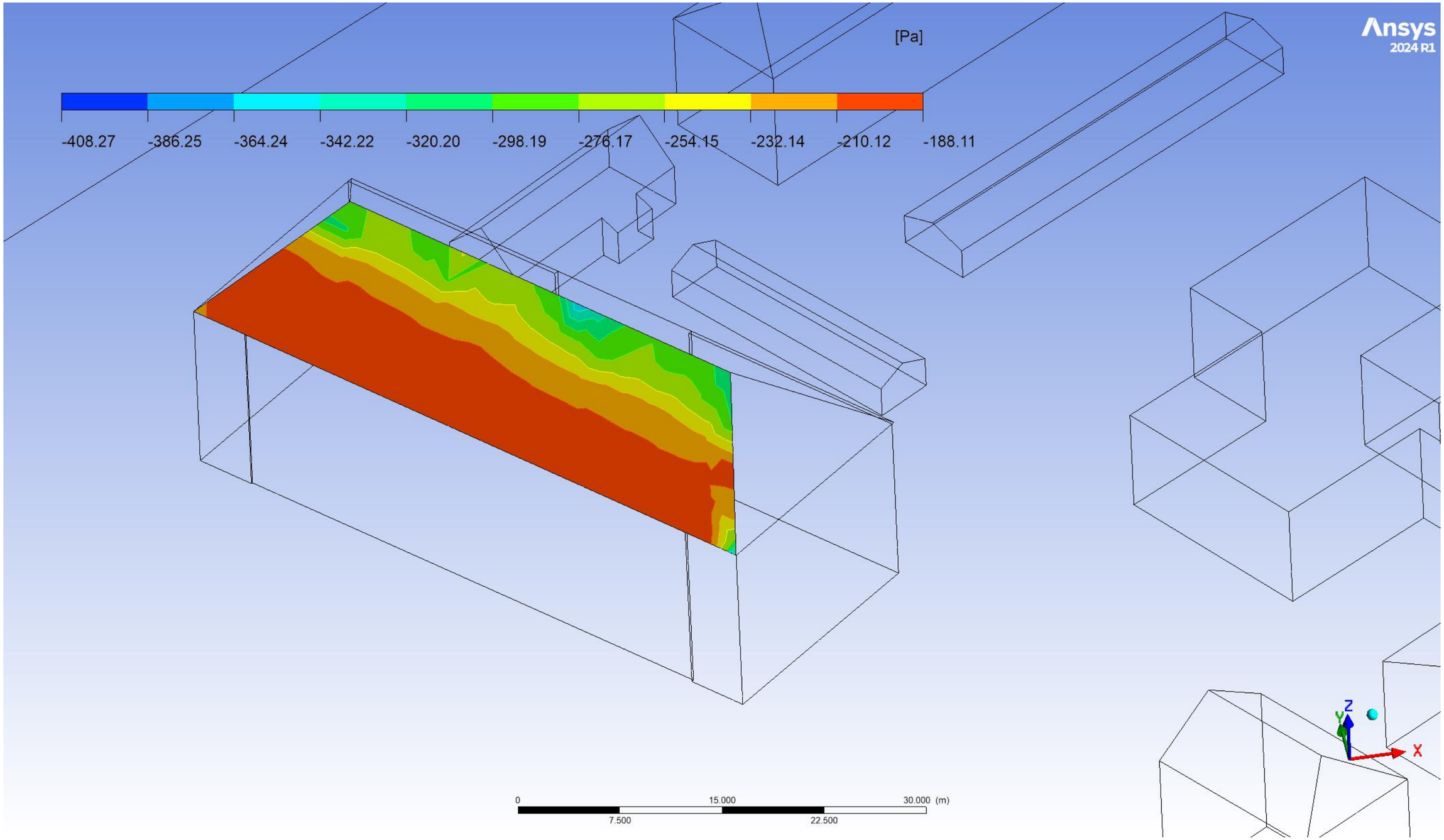
CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje



CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje



CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta upravne stavbe občine Kočevje



CFD analiza: distribucija zračnega tlaka po strešni površini objekta stavbe vrtec Čebelica

