

Aspecte privind calculul încărcării din vânt la panourile fotovoltaice

1

s. l. dr. ing. Ovidiu Bogdan
prof. dr. ing. Dan Crețu

A XXIII-a CONFERINȚĂ NAȚIONALĂ A.I.C.P.S
30.05.2013

Se pot considera **copertine** panourile fotovoltaice?

Panourile fotovoltaice

Nu sunt structuri individuale – baterii de panouri

Au durată de exploatare redusă – 20 ani

Au o valoare de investiție mare

140 MW total instalați în 2013

1500 MW total instalați în 2016

Investiție \approx 4 miliarde de Euro

Costul structurii

Nivelul încărcării din vânt

Nivelul încărcării din zăpadă

Calculul încărcării din vânt. Dificultăți de interpretare a normativului

Ce este A_{ref} (aria de referință)?

CR 1-1-4-2011

Aria de referință orientată **perpendicular** pe direcția vântului

$$F_w = c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_B) \cdot A_{ref}$$

La copertine orizontale ($\alpha=0$) $A_{ref}=0$???

EN 1991-1-4:2005

“**The wind force** acting on a structure or a structural component may be determined (...) by *vectorial summation over the individual structural elements*”

“ A_{ref} is the **reference area** of the structure or structural element”

“**is the area of the individual surface**”

Calculul încărcării din vânt. Dificultăți de interpretare a normativului

Când se calculează încărcarea din vânt pe baza presiunilor și când ca forță rezultantă?

NP-082

Presiunile sunt **valori maxime locale** – elemente de acoperiș și de fixare

EN 1991-1-4

Forțele rezultante (coeficienți de forță) – elemente structurale

CR 1-1-4-2011

sau

SR EN 1991-1-4:2006

SR EN 1991-1-4:2006/NB:2007

Evaluarea încărcării din acțiunea vântului pentru panourile considerate

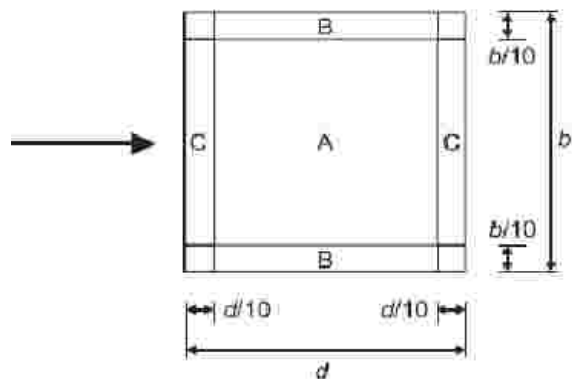
Panouri fotovoltaice: dimensiuni 9740 x 3302 mm, înclinate la 25 de grade

Amplasament: încărcare din zăpadă $s_k=1.6 \text{ KN/m}^2$, încărcare din vânt $q_b=0.5 \text{ KN/m}^2$ (categoria a II-a de teren)

Structura: stâlp 2800 mm (1400 îngropați), grinda transversală, 2 contrafișe din oțel și 4 pane din aluminiu

Coeficienți de presiune și de forță cf. CR 1-1-4-2011

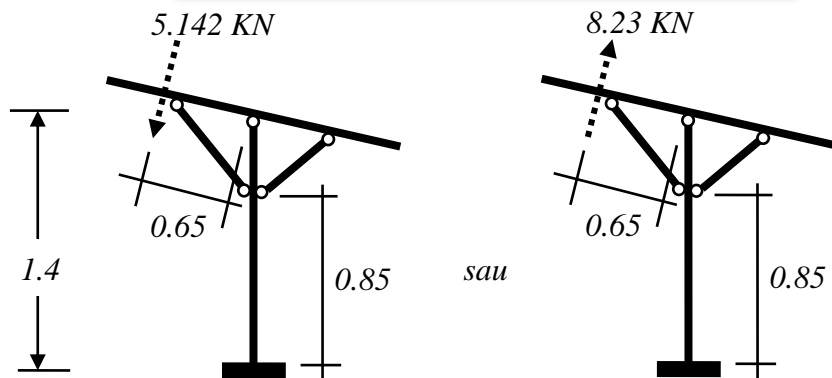
zona	A	B	C	c_f
$\varphi = 0$	-2.6	-3.2	-3.2	-1.6
oricare φ	+2.0	+3.1	+2.3	+1.0



Panouri fotovoltaice Königsolar

Evaluarea încărcării din acțiunea vântului pentru panourile considerate

Forțe calculate cu coeficienți de forță

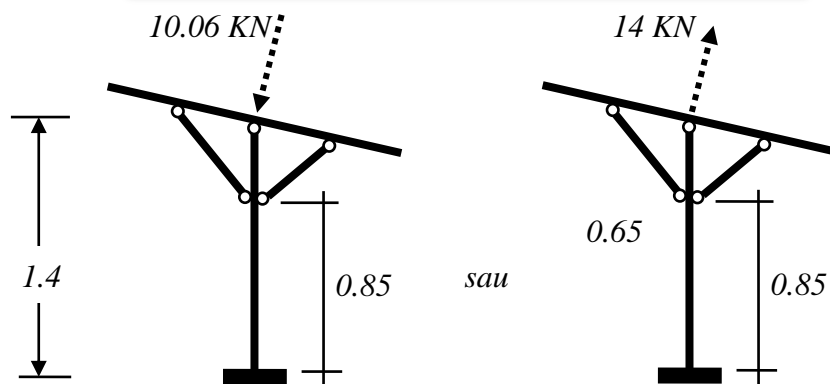


Vânt descendent

Vânt ascendent



Forțe calculate cu coeficienți de presiune



Vânt descendent

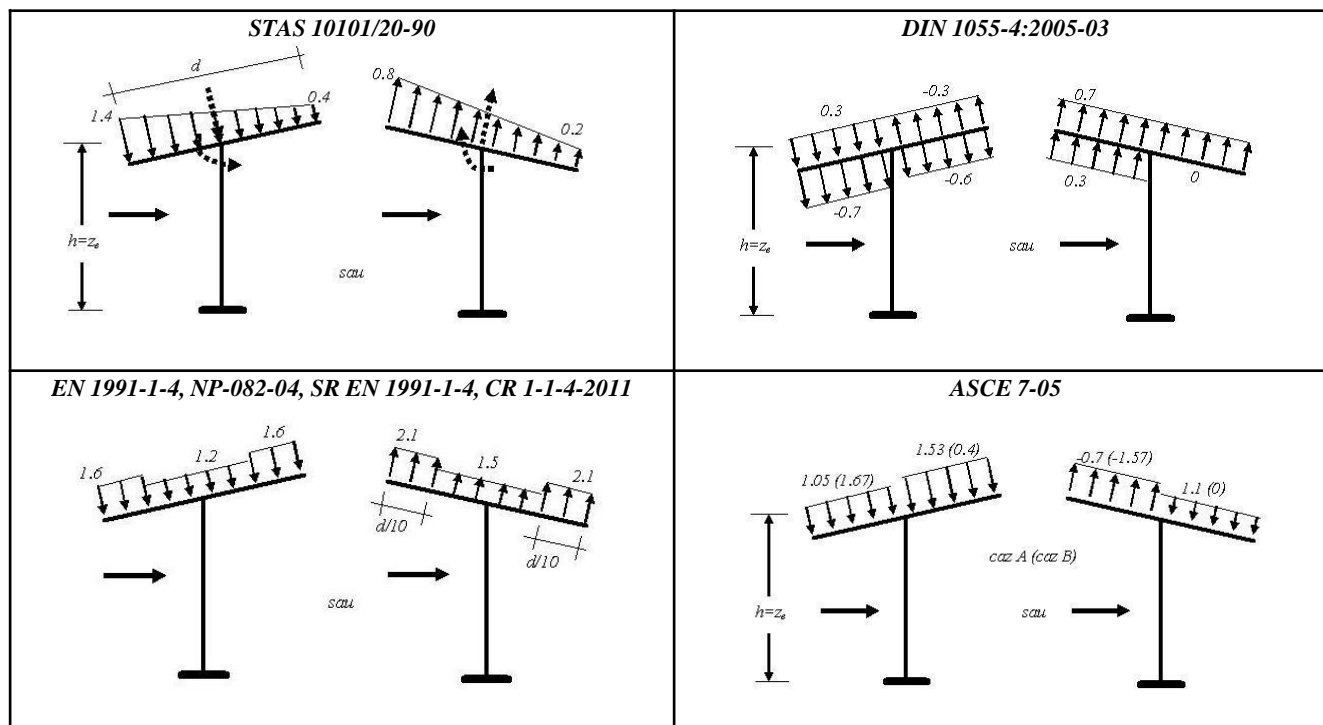
Vânt ascendent

Forțele rezultante calculate cu coeficienți de forță sunt mai mici decât cele calculate cu coeficienți de presiune

La calculul cu coeficienți de forță apare și un moment suplimentar

Comparație – forțele rezultate din acțiunea vântului în diferite normative

Coeficienți de presiune pentru copertine înclinate la 10 grade (DIN 1055)



Normativele *EN 1991-1-4, NP-082-04, SR EN 1991-1-4, CR 1-1-4-2011* au și coeficienți de presiune și de forță

Comparație – forțele rezultate din acțiunea vântului în diferite normative

Componentele torsorului de reducere în capătul stâlpului

Norma		Vânt descendent (pres.)		Vânt ascendent (suct.)	
		F_w	M_w	F_w	M_w
STAS 10101/90		0.9d	0.083d ²	0.5d	0.05 d ²
DIN 1055		0.65d	0.0875d ²	0.85d	0.0375 d ²
EN 1991-1-4	pres.	1.28d	0	1.62d	0
	c_f	0.5d	0.125d ²	0.9d	0.225 d ²
ASCE	caz A	1.29d	0.06d ²	0.2d	0.225 d ²
	caz B	1.035d	0.159d ²	0.785d	0.196 d ²

Vechiul normativ românesc și normativul german au valori comparabile

Tendință de a crește valorile **coeficienților de presiune – niveluri de asigurare superioară**

Coeficienți de presiune evaluați probabilistic – **valori maxime așteptate**

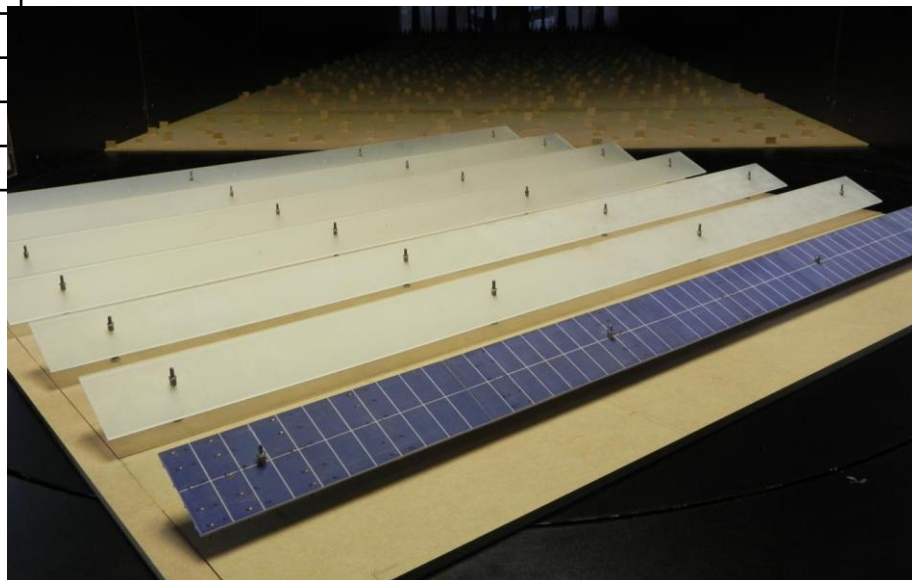
NU se ține seama de caracterul panourilor fotovoltaice (efectul de grupare, durată de exploatare redusă)

Comparație – forțele rezultate din CR 1-1-4-2011 și tunelul aerodinamic

Componentele tursorului de reducere în capătul stâlpului

Norma/Test		Vânt descendent (presiune)		Vânt ascendent (sucțiune)	
		F_w	M_w	F_w	M_w
EN 1991-1-4	pres.	2.06d	0	2.72d	0
	c_f	1.00d	0.2500d ²	1.60d	0.400 d ²
Tunel de vânt	Max.	1.45d	0.1160d ²	1.70d	0.204 d ²
	Min.	0.30d	0.039d ²	0.60d	0.102 d ²

Teste realizate de Wacker Ingenieure GmbH



Valorile maxime pentru tunelul de vânt corespund unei zone de lățime 1 m aflată în marginea grupului de panouri; cele minime pentru o zonă în mijlocul grupului de panouri

Diferențe importante între normativ și valorile obținute experimental – necesitatea studiilor experimentale

CONCLUZII



- Panourile fotovoltaice sunt structuri grupate, cu durata de exploatare redusă și valoare de investiție ridicată
- Introducerea unui factor de importanță al structurilor la încărcarea din vânt (ASCE coeficient minim de importanță 0.87)
- Testele în tunelul aerodinamic ar trebui să fie o variantă acceptată și reglementată de codul de proiectare
- Normativul românesc nu este îndeajuns de clar în privința situațiilor când se folosesc coeficienți de forță sau de presiune. Normativele german, american și vechiul normativ românesc dau valori doar pentru coeficienții de presiune.