

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jelušič, D., 2014. Zasnova 400kV daljnovidnega stebra. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Korelc, J., somentor Sinur, F.): 27 str.

Datum arhiviranja: 02-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Jelušič, D., 2014. Zasnova 400kV daljnovidnega stebra. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Korelc, J., co-supervisor Sinur, F.): 27 pp.

Archiving Date: 02-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat:

DANIJEL JELUŠIĆ

ZASNOVA 400KV DALJNOVODNEGA STEBRA

Diplomska naloga št.: 169/B-GR

DESIGN OF 400 KV TRANSMISSION TOWER

Graduation thesis No.: 169/B-GR

Mentor:

prof. dr. Jože Korelc

Predsednik komisije:

prof. dr. Jože Korelc

Somentor:

doc. dr. Franc Sinur

Ljubljana, 25. 09. 2014

Jelušić, D. 2014. Zasnova 400 kV daljnovoda.

Dipl. nal. Ljubljana, UL FGG, Univerzitetni študijski program I. stopnje Gradbeništvo.

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA

Podpisani **Danijel Jelušić** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »**Zasnova 400 kV daljnovodnega stebra**«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 17. 9. 2014

Danijel Jelušić

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

- UDK:** 621. 3 : 624. 014. 2(497.4) (043.2)
- Avtor:** Danijel Jelušić
- Mentor:** prof. dr. Jože Korelc
- Somentor:** doc. dr. Franc Sinur
- Naslov:** Zasnova 400 kV daljnovodnega stebra
- Tip dokumenta:** Diplomaska naloga – univerzitetni študij
- Obseg in oprema:** 27. str., 10 sl., 9. pregl., 30 en., 4 pril.
- Ključne besede:** 400 kV daljnovod, zasnova, dimenzioniranje, obtežbe vetra, obtežba žledu

Izveček

Diplomsko delo zajema pregled pravil, ki jih podaja standard SIST EN 50341-1:2013 in nacionalni dodatek za nadzemne električne vode za izmenične napetosti nad 45 kV, ki temelji na podlagi SIST EN 50341-1:2002. Naloga obravnava določitev obtežb: obtežba vetra, obtežba žledu in napenjalne sile, ki delujejo na vodnike, zaščitno vrv in posledično na daljnovodni steber. Standar SIST EN 50431-1 - 2013 podaja splošna pravila za določitev obtežb in kombinacij, medtem, ko nacionalni dodatek natančno določa možne kombinacije obtežb, ki jih je potrebno zajeti pri snovanju in dimenzioniranju daljnovodnih stebrov.

Na primeru 400 kV podpornega stebra je prikazana analiza določitve obtežb in kombinacij, ki delujejo na steber. Z globalno linearno elastično analizo smo določili notranje statične količine, ki smo jih uporabili za dimenzioniranje elementov. Kontrola nosilnosti prerezov in stabilnosti elementov je izvedena v skladu z veljavnimi Evropskimi standardi SIST EN 1993.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

- UDC:** 621. 3 : 624. 014. 2(497.4) (043.2)
- Author:** Danijel Jelušić
- Supervisor:** prof. Jože Korelc, Ph.D.
- Cosupervisor:** doc. Franc Sinur, Ph.D.
- Title:** Design of 400 kV transmission tower
- Document type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 27. p., 10 fig., 9 tab., 30 eq., 4 ann.
- Keywords:** 400 kV transmission tower, design, wind forces, ice loads

Abstract

The Diploma thesis addresses the overview of design rules given in SIST EN 50341 – 1 : 2013 and national annex for overhead electrical lines exceeding AC 45 kV based on SIST EN 50341 – 1 : 2002. In the thesis the following loads are analysed : wind load, ice load and tension force in the conductor wires. Standard SIST EN50341 – 1 : 2013 specifies general rules for determining loads and load combinations, while the national annex exactly defines possible combinations, which are needed to be included in design of transmission towers.

The structural analysis and design is demonstrated for the case of 400 kV supported tower. Internal static forces, which were used to design elements of transmission tower, were determined using global linear elastic analysis. Cross-section capacity and element stability are performed according to Eurocode standards SIST EN 1993.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. dr. Jožetu Korelcu in somentorju doc. dr. Francu Sinurju za vse nasvete in prijaznost pri izdelavi diplomskega dela.

Iz srca se zahvaljujem očetu, mami in sestri za vso podporo, ki ste mi jo nudili v času študija. Hvala, ker ste verjeli, da mi bo uspelo.

Zahvaljujem se tudi prijateljem, ki so mi v času študija stali ob strani in me spodbujali.

Kazalo vsebine:

1	UVOD	1
2	SPLOŠNO	2
2.1.	Sile v obesiščih vrvi	2
2.1.1.	Natezne sile v kabljih	2
2.2.	Obtežbe vetra	2
2.2.1.	Srednja hitrost vetra	2
2.2.2.	Hitrost vetra v_h	3
2.2.3.	Določitev pritiska vetra	4
2.2.4.	Turbulenca in maksimalni tlak vetra	5
2.2.5.	Sila vetra na vodnike	5
2.2.6.	Sile vetra na izolatorske sklope	7
2.2.7.	Sila vetra na palične stebre.....	7
2.2.7.1.	Metoda 1	8
2.2.7.2.	Metoda 2	10
2.3.	Obtežbe žleda	10
2.3.1.	Sile na vodnike zaradi žleda.....	10
2.3.2.	Kombinacija obtežb vetra in žleda	10
2.3.3.	Faktor zračnega upora in gostote žleda	11
2.3.4.	Dinamični tlak vetra	11
2.3.5.	Ekvivalentni premer D vodnika z žledno oblogo	11
2.3.6.	Sile vetra na podpore, ki jih povzročajo vodniki z žledno oblogo	12
2.3.7.	Kombinacija hitrosti vetra in obtežb žleda.....	12
2.3.7.1.	Ekstremna obtežba žleda I_T v kombinaciji z visoko verjetnostjo hitrosti vetra V_{IH} ..	12
2.3.7.2.	Obtežba žleda I_3 v kombinaciji z majhno verjetnostjo hitrosti vetra V_{IL}	13
2.4.	Temperaturni vpliv	13
2.5.	Obtežbe med gradnjo in vzdrževanjem	14
2.6.	Obtežbe, povezane s težo monterjev	14
2.7.	Standardne obtežne kombinacije	15
2.7.1.	Delni faktorji za vplive.....	17
3	PRIMER: ANALIZA 400 kV STEBRA	18
3.1.	Uvod.....	18
3.2.	Opis daljnovoda.....	20
3.3.	Določitev in kontrola nosilnosti vijakov	21
3.4.	Dimenzioniranje	24
4	ZAKLJUČEK	26
VIRI	27

Kazalo slik:

Slika 1: Sila vetra na vodnike (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str. 59).....	6
Slika 2: Sila vetra na vodnike – smer vetra vzdolž simetrane odklona linije (SIST EN 50341 – 1, 2013, str 60).....	7
Slika 3: Opredelitev stene stolpa, konzol in stopnje zapolnjenosti (SIST EN 50341 – 1, 2013, str 66)	9
Slika 4: Faktor upora za pravokotne stolpe sestavljene iz ploščastih elementov (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 66).....	9
Slika 5: Upogib prečno (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 79).....	16
Slika 6: Upogib vzdolžno (SIST EN 50341 - , 2013 : str 79).....	16
Slika 7: Torzijski upogib (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 79)	16
Slika 8: Primer 400 kV daljnovoda oblike "sod"	21
Slika 9: Prerez preklopnega spoja	21
Slika 10: Tlorisna projekcija preklopnega spoja	22

Kazalo preglednic:

Preglednica 1: Faktor zemljišča kT in parameter hrapavosti zemljišča z_0 za različne kategorije zemljišča po Evrokodu (SIST EN 50341 -1, 2013 : str 56).....	4
Preglednica 2: Vetrovne cone v sloveniji po EC-3 (Beg, Pogačnik, 2011: str 69).....	4
Preglednica 3: Faktorji upora C_{lc} in gostota ledu ρ_l za različne vrste ledu (SIST EN 50341-1, 2013 : str 72).....	11
Preglednica 4: Standardne obtežne kombinacije (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 77).....	15
Preglednica 5: Delni varnostni faktorji in kombinacijski faktorji, mejna stanja nosilnosti (SIST EN 50341-1, 2013 : str 80)	17
Preglednica 6: Primeri obtežb (SIST EN 50341-3-21, 2009 : str 16).....	18
Preglednica 7: Lastnosti vijaka dobljene po EC-3 (SIST EN 1993 – 1 – 8).....	22
Preglednica 8: Nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y in natezne trdnosti f_u za vroče valjana konstrukcijska jekla po EC – 3 (SIST EN 1993 – 1 – 8).....	24
Preglednica 9: Največji dovoljeni premer luknje po EC – 3 (SIST EN 1993 – 1 – 8)	24

1 UVOD

Daljnovod je nadzemni elektroenergetski objekt, ki omogoča prenos električne energije od proizvajalca do uporabnika s katerim je omogočen prenos električne energije od proizvajalca do porabnika. Generalno gledano je objekt linijski, nameščen v prostor ob upoštevanju vseh zahtev uporabnikov prostora (Marušič, I., Jakl, F., 1998, cit. po Zadnik, B., 2006). Osnovni elementi daljnovoda so: trasa, temelji, stebri, vodniki, zaščitne vrvi ter izolacijski elementi (Plaper, M., 1977, cit. po Zadnik, B., 2006). Glede na nivo napetosti, ki jo daljnovod prenaša, delimo tovrstne objekte na nizko (do 1 kV), srednje (1-45 kV) in visokonapetostne vode (nad 45 kV), pri nas do 400 kV. Daljnovod je torej prostorsko zelo zahteven objekt, istočasno pa sodi po izvedbeni plati med najzahtevnejše objekte, saj je potrebno za ekonomsko opravičljivo gradnjo uporabiti posebne tehnologije, ki omogočajo gradnjo vzdolž celotne trase voda, to je tudi na težko dostopnih terenih. Praviloma se namreč tovrstni objekti gradijo na območjih, ki so odmakjena od naselij in s tem od prometnic (Zadnik, 2006).

Pri zasnovi daljnovoda kot gradbene konstrukcije je kot enega najpomembnejših faktorjev pri definiranju obtežb nosilnih konstrukcij in obnašanju celotnega daljnovoda kot objekta potrebno upoštevati vremenske vplive. Med temi so pomembni predvsem vplivi vetra, temperature in žleda. Vsi trije pojavi in dodatno breme (montažne obrnenitve in stalne obremenitve kot so napetosti v kablilih) so spremenljivke, ki imajo popolnoma naključni značaj in se lahko pojavljajo ločeno ali pa tudi v istočasnih kombinacijah. Način določanja njihove velikosti se zelo razlikuje glede na posamezne nacionalne tehnične regulative. Za potrebe projektiranja daljnovodov se spremljajo le maksimalne vrednosti teh spremenljivk v določenem časovnem obdobju v določenem času.

Lastniki in načrtovalci daljnovodov so praktično po vsem svetu postavljeni pred vprašanje, kako se varovati pred poškodbami daljnovodov ob upoštevanju tehnične varnosti ter ekonomike izgradnje prenosnega objekta. Enotne filozofije, standardnih rešitev ali splošne tehnične prakse na tem področju še ni (Zadnik 2006).

Diplomsko delo je sestavljeno iz dveh delov. V prvem delu so definirane obtežbe na osnovi standardov SIST EN 50341 – 1 : 2013 in SIST EN 50341 – 3 – 21 : 2009, ki delujejo na 400 kV daljnovod. Obtežbe so določene posebej za veter, kjer smo obremenili daljnovodni steber ter njegove sestavne dele(izolatorji, konzole, paličje,...) in posebej za žled v kombinaciji z vetrom. Kombinacije žleda in vetra so določene za najbolj neugodne primere delovanja le teh(Zadnik, 2006).

V drugem delu analiziramo 400 kV daljnovodni steber s pomočjo programskega orodja SCIA Engineer. Objekt postavimo na območje Beričeva, kjer poteka trasa 400 kV daljnovodov Beričevo-Krško. Predpostavimo tudi, da daljnovod spada v vetrovno cono Slovenije kje osnovna povprečna hitrost vetra znaša 20 m/s . Dimenzije kotnikov določamo iterativno. V prvem koraku določimo dimenzije glede na horizontalno obtežbo, ki jo povzročajo vrvi v kombinaciji z žledom in glede na velikost izberemo dva ali tri razrede večji prerez. Nato začnemo z analizo vetra kjer ugotovimo ali smo določili ustrežno velikost prereza. Za pomoč pri dimenzioniranju sem uporabil program Excel kjer sem uvozil tabele kotnikov, ki sem jih pridobil v spletni bazi podjetja ArcelorMittal ter določil enačbe s pomočjo katerih je program poiskal ustrezen kotnik glede na pripadajočo obtežbo. Enačbe so zasnovane tako, da na osnovi obtežbe, ki pripada na določen element prostorskega paličja daljnovoda, izračunajo potrebno površino obravnavanega elementa in nato na osnovi izračunane površine določijo kotnik katerega površina je najbližja tisti, ki smo jo določili v Excelu.

2 SPLOŠNO

2.1. Sile v obesiščih vrvi

2.1.1. Natezne sile v kabljih

Največja obratovalna sila v vrvi je izbrana računsko vrednost, ki jo doseže vodoravna komponenta natezne sile pri temperaturi -5°C z dodatno obtežbo ali temperaturi -20°C brez dodatne obtežbe. To silo označim z F_0 , obtežno stanje s to silo pa osnovno ali kritično stanje, ki ga določimo z enačbo:

$$L_k = \frac{F_0}{S} \cdot \sqrt{\frac{360 \cdot \alpha}{(g_L + g_D)^2 - g_L^2}} \quad (1)$$

kjer je L_k kritična razpetina, S presek vrvi, α temperaturni koeficient vrvi, g_L lastna težva vrvi ter g_D dodatna obtežba.

Če je dejanska razpetina med stebroma L večja od kritične razpetine L_k pomeni, da je stanje pri temperaturi -5°C in z dodatnim bremenom na vrveh osnovno, če pa je dejanska razpetina manjša od kritične, je stanje pri temperaturi -20°C osnovno stanje.

Da lahko določimo silo v vrvi pri temperaturah, ki jih zahtevajo obtežne situacije, uporabim klasično položajno enačbo vrvi:

$$\frac{g^2 \cdot L^2}{24 \cdot F^2} - \frac{g_0^2 \cdot L^2}{24 \cdot F_0^2} = \alpha \cdot (T - T_0) + \frac{F - F_0}{E \cdot S \cdot \cos \psi} \quad (2)$$

kjer je L razdalja med stebroma, T temperatura, g teža vrvi na meter (z ali brez dodatne obtežbe, odvisno od obtežne situacije), F pripadajoča horizontalna sila v vrvi, E elastični modul vrvi, α temperaturni koeficient vrvi ter ψ kot zaradi višinske razlike, ki za naš primer znaša kar $\psi = 0$. T_0 , g_0 , F_0 so parametri osnovnega stanja, T , g , F pa parametri iskanega stanja. Vertikalna komponenta sile v obesišču vrvi znaša $G_V = g \cdot l_g$, horizontalna komponenta pa $G_H = F$, kjer so:

g teža vrvi na meter z ali brez dodatne obtežbe,
 l_g gravitacijski razpon vrvi.

2.2. Obtežbe vetra

2.2.1. Srednja hitrost vetra

Srednja hitrost vetra $v_h(h)$ je odvisna od:

- osnovne hitrosti vetra $v_{b,0}$
- smernega koeficienta vetra c_{dir}
- referenčne višine obravnavanega elementa h
- parametra hrapavosti zemljišča z_0
- orografskega faktorja c_o

Učinek topografije lahko zanemarimo, če je naklon terena v smeri proti vetru majhen. V tem primeru je priporočena vrednost orografskega faktorja enaka 1.

Naklon manjši od 5 % se obravnava kot majhen naklon.

Kjer topografija poveča hitrost vetra za več kot 5 % je potrebno spremembe upoštevati z uporabo orografskega faktorja c_o .

2.2.2. Hitrost vetra v_h

Za elemente nadzemnega voda do višine 10 m od tal se uporablja neposredno referenčna hitrost vetra:

$$v_h = v_R$$

Za elemente nadzemnega voda, ki so več kot 10 m od tal, se uporablja hitrost vetra, povečana po logaritemskem zakonu. Pri uporabi osnovne hitrosti vetra je:

$$v_h = V_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_o \cdot k_r \cdot \ln \frac{h}{z_0} \quad (3)$$

kjer je:

- h višina nad tlemi,
- $v_{b,0}$ osnovna hitrost vetra,
- c_o orografski faktor,
- c_{dir} smerni koeficient vetra (priporočena vrednost je $c_{dir}=1$),
- k_r faktor zemljišča (tabela 1),
- z_0 parameter hrapavosti zemljišča.

Parametra k_r in z_0 sta podana v preglednici 1., ki je povzeta po standardu SIST EN 50341-1 : 2013

Preglednica 1: Faktor zemljišča k_T in parameter hrapavosti zemljišča z_0 za različne kategorije zemljišča po Evrokodu (SIST EN 50341 -1, 2013 : str 56)

Kategorija zemljišča	Lastnosti zemljišča	k_r	z_0
0	Morje ali obalno območje izpostavljeno odprtemu morju	0,155	0,003
I	Jezera ali ravna horizontalna območja z zanemarljivo vegetacijo brez ovir	0,169	0,01
II	Območje z manjšo vegetacijo kot je trava in izoliranimi ovirami(drevesa,...) z medsebojno razdaljo, ki znaša vsaj 20 kratno višino ovire	0,189	0,05
III	Območje prekrito z zmerno vegeatacijo, stavbami ali izoliranimi objekti z maksimalno medsebojno razdaljo, ki znaša 20 kratno višino ovire	0,214	0,3
IV	Območja kjer je vsaj 15 % površine prekrito s stavbami katerih povprečna višina presega 15 m	0,233	1

Hitrost vetra $V_{b,0}$ je v standardu SIST EN 50341-1 : 2013 definirana kot osnovna hitrost vetra določena v NNA (nacionalni dodatek). Glede na osnovno hitrosti vetra v Sloveniji, ločimo 3 vetrovne cone.

Preglednica 2: Vetrovne cone v sloveniji po EC-3 (Beg, Pogačnik, 2011: str 69)

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

2.2.3. Določitev pritiska vetra

Dinamični tlak vetra q_h (N/m^2) na višini h nad tlemi je določen z izrazom:

$$q_h = \frac{1}{2} \rho \times v_h^2 \quad (4)$$

kjer je:

ρ gostota zraka z vrednostjo $1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$,

v_h hitrost vetra v (m/s) na vsini h nad tlemi.

Če ima veter po območjih različne hitrosti in smeri, je potrebno q_h izračunati za območje, kjer je tlak vetra na neko komponento ali element največji.

2.2.4. Turbulenca in maksimalni tlak vetra

Turbulenca $I_V(h)$, na višini h nad tlemi je definirana kot standardna deviacija turbulence vetra deljena z srednjo hitrostjo vetra.

Turbulenca je določena z enačbo:

$$I_V(h) = \frac{1}{c_o \ln \frac{h}{z_o}} \quad (5)$$

kjer so:

z_o parameter hrapavosti zemljišča,
 c_o orografski faktor.

Maksimalni tlak vetra q_p na višini h nad tlemi, ki upošteva turbulenco je definiran z enačbo:

$$q_p(h) = [1 + 7I_V(h)] q_h(h) \quad (6)$$

Sila vetra na element nadzemnega voda

Vrednost sile Q_{wx} zaradi vodoravne komponente vetra, delujočega pravokotno na element nadzemnega voda, je podana z enačbo:

$$Q_{wx} = q_p(h) \cdot G_x \cdot C_x \cdot A_x \quad (7)$$

kjer je:

q_p dinamični tlak vetra oziroma maksimalni tlak vetra,
 G_x faktor resonančnega odziva opazovanega elementa konstrukcije,
 C_x faktor zračnega upora, odvisen od oblike opazovanega elementa,
 A površina opazovanega elementa, izpostavljena vetru s ploskvijo, pravokotno na smer vetra.

2.2.5. Sila vetra na vodnike

Tlak vetra povzroča sile prečno na smer voda in tudi povečane natezne sile v vodnikih. Rezultirajoča sila vetra na nosilno podporo, ki jo prenaša vsak od vodnikov nadzemnega voda na nosilno podporo, je vsota prispevkov vplivov iz obeh razpetin in znaša:

- v smeri vzporedno s konzolo:

$$Q_{wc_v} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \left[\left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \right] \cos \left(\frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (8)$$

v smeri pravokotno na konzolo:

$$Q_{wc,U} = q_p(h) \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot \left[\left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \right] \sin \left(\frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (9)$$

kjer so:

q_p maksimalni tlak vetra,

G_c konstrukcijski resonančni faktor za vodnike, odvisen od dolžine razpetine,

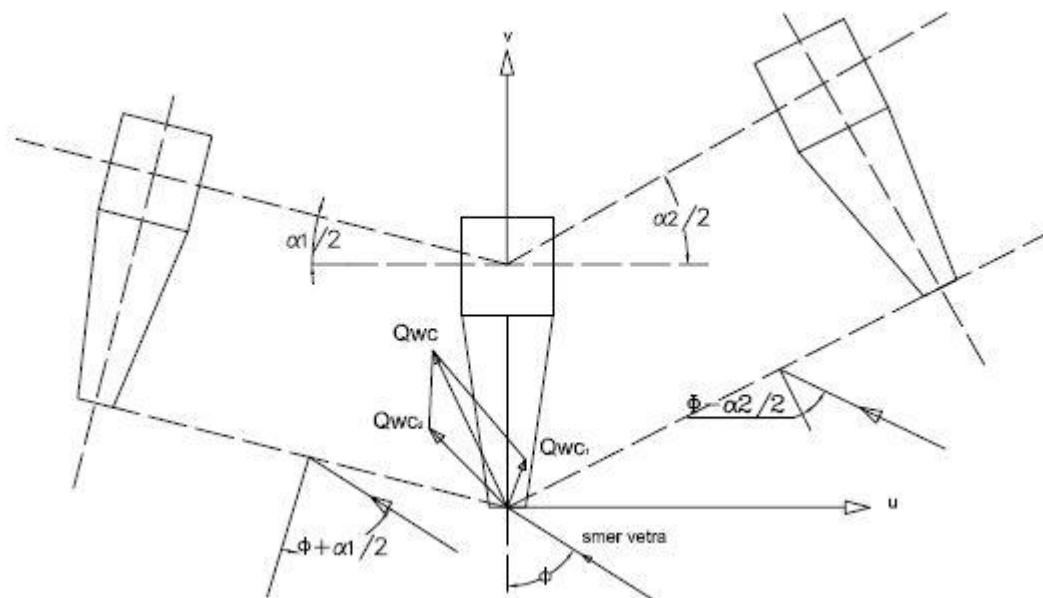
C_c faktor zračnega upora,

d premer vodnika,

L_1, L_2 dolžini obeh sosednjih razpetin; njuna srednja vrednost L je vetrna razpetina,

Φ vpadni kot glede na najneugodnejšo smer vodnikov.

$$\theta_1, \theta_2 \frac{(\theta_1 + \theta_2)}{2} = \theta \quad (10)$$



Slika 1: Sila vetra na vodnike (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str. 59)

Faktor zračnega upora C_c določimo s pomočjo Reynoldsovega števila z enačbo:

$$Re = \frac{v(h) \cdot d}{\nu} \quad (11)$$

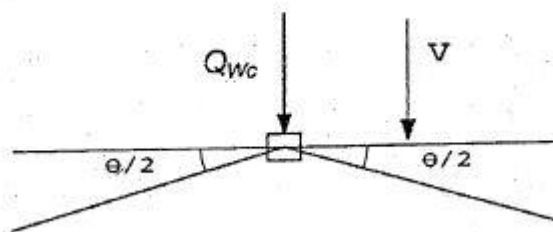
kjer so:

$$v(h) = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p(h)}{\rho}}, \quad (12)$$

d premer vodnika,

ν kinematična viskoznost zraka za katero je priporočena vrednost $\nu = 15 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Ko se obravnavajo sile vetra na kotne podpore, je treba upoštevati vpliv obremenitve v smeri voda, vpadna kota smeri vetra levo in desno od te podpore ter pripadajoči razpetini in porazdelitev vodnikov.



Slika 2: Sila vetra na vodnike – smer vetra vzdolž simetrale odklona linije (SIST EN 50341 – 1, 2013, str 60)

V našem primeru enačbo za silo vetra na vodnike, ki deluje v smeri pravokotno na konzolo, ne upoštevamo saj je vpliv vetra na vodnike v tej smeri zanemarljivo majhen in upoštevamo le enačbo za silo vetra v smeri vzporedno s konzolo.

2.2.6. Sile vetra na izolatorske sklope

Sile vetra na izolatorske sklope sestavljajo sile vetra na vodnike ter tlak vetra na izolatorske sklope. Neposredna sila vetra deluje na obesišče v podpori v smeri vetra in je

$$Q_{W_{ins}} = q_p(h) \cdot G_{ins} \cdot C_{ins} \cdot A_{ins} \quad (13)$$

kjer so:

q_p maksimalni tlak vetra,

G_{ins} resonančni faktor izolatorskih sklopov; uporabi se vrednost G_t ali G_{pol} , kar je ustrežnejše. Priporočena vrednost znaša 1.

C_{ins} faktor zračnega upora izolatorskih sklopov, ki je enak 1,2,

A_{ins} površina izolatorskega sklopa, projicirana vodoravno na navpično ravnino, vzporedno z osjo verige.

2.2.7. Sila vetra na palične stebre

Sile vetra na palične stebre sestavljajo tako sile vetra na vodnike in izolatorje kot tudi tlak vetra, ki deluje neposredno na konstrukcijo stebra.

Sila vetra na stebel se lahko določi z dvema metodama:

- Metoda 1: stolp je razdeljen na odseke. Faktor upora se nanaša na okvirje posameznih odsekov stebra upoštevajoč zaveterni učinek okvirjev obrnjenih v smeri vetra in okvirjev obrnjenih proti vetru.
- upošteva se posamezni okvir stebra. Faktor upora se nanaša na okvirje stebra brez upoštevanja učinka zaveterja. Ta metoda je priporočljiva za stebre z nepravilno geometrijo, še posebej pa za konzole.

2.2.7.1. Metoda 1

Pri paličnih stebrih s pravokotnim prerezom se sile računajo po posameznih odsekih, upoštevajoč njihovo višino nad tlemi. Višina posameznega odseka stebra naj bi bila praviloma enaka razdalji med dvema sosednjima povezavama med vogalniki in diagonalami. Delovanje sile vetra se predpostavi v težišču odseka stebra in je:

$$Q_{Wt} = q_p(h) \cdot G_t \cdot (1 + 0,2 \cdot \sin^2 2\phi) \cdot (C_{t1} \cdot A_{t1} \cdot \cos^2 \phi + C_{t2} \cdot A_{t2} \cdot \sin^2 \phi) \quad (14)$$

kjer so:

- q_p maksimalni tlak vetra,
- G_t resonančni faktor gradbenega elementa, ki je za palične stebre, visoke do 60 m, enak, 1,05., (Za stebre, višje od 60 m, naj bi se G_t določil posebej. Priporočena vrednost je 1),
- C_{t1} faktor zračnega upora stene 1 stebra za veter, ki deluje nanjo pravokotno,
- C_{t2} faktor zračnega upora stene 2 stebra za veter, ki deluje nanjo pravokotno,
- A_{t1} sodelujoča površina elementov odseka paličnega stebra v steni 1,
- A_{t2} sodelujoča površina elementov odseka paličnega stebra v steni 2,
- ϕ kot med smerjo vetra in vzdolžno osjo palične konzole.

Faktorji zračnega upora C_t v zvezi s stopnjo zapolnjenosti χ (glej sliko 4), so za stene iz elementov z ravnimi ploskvami razvidni s slike 5.

$$G_t = \frac{1+6I_v(h)\sqrt{B^2}}{1+7I_v(h)} \quad (15)$$

$$B^2 = \frac{1}{1+\frac{3}{2} \times \frac{H_t}{L(h)}} \quad (16)$$

kjer je:

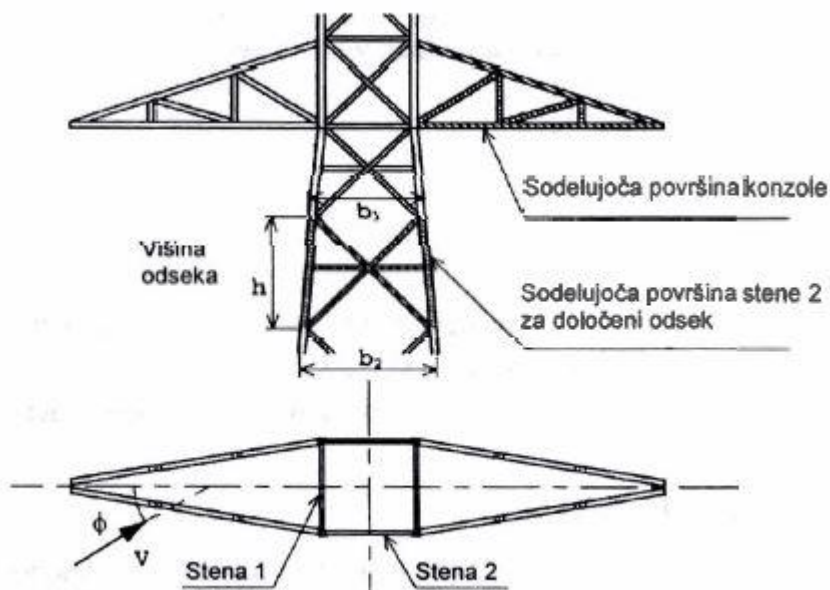
- H_t celotna višina stolpa.

Za palične konzole določimo pripadajočo silo vetra z enačbo:

$$Q_{Wtc} = q_p(h) G_{tc} A_{tc} (\sin \phi + 0,4 \cos \phi) \quad (17)$$

kje so:

- G_{tc} konstruktivni faktor za palične konzole. Priporočena vrednost znaša 1,
- C_{tc} faktor zračnega upora površine palične konzole, v smeri pravokotno na os konzole,
- A_{tc} sodelujoča površina elementov stene palične konzole izpostavljena vetru,
- ϕ kot med smerjo vetra in vzdolžno osjo palične konzole.



Slika 3: Opredelitev stene stolpa, konzol in stopnje zapolnjenosti (SIST EN 50341 – 1, 2013, str 66)

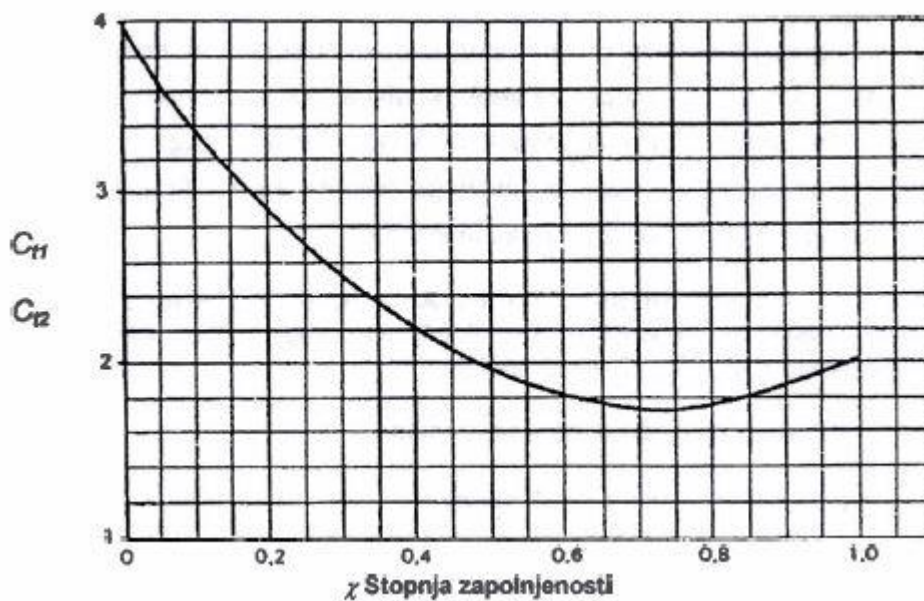
$$\chi = A_T \cdot \frac{2}{h(b_1 + b_2)} \quad (18)$$

kjer so:

χ stopnja zapolnjenosti odseka stebra,

A_T sodelujoča površina elementov stene paličnega stebra, projicirana pravokotno na steno.

Vezne elemente sosednjih sten in vodoravnih torzijskih vezi je mogoče zanemariti.



Slika 4: Faktor upora za pravokotne stolpe sestavljene iz ploščastih elementov (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 66)

2.2.7.2. Metoda 2

Na vsak element stolpa, deluje sila vetra pravokotno na os elementa in v ravnini, ki je določena z osjo elementa in smerjo vetra na to os. Silo vetra določimo z enačbo:

$$Q_{Wm} = q_p(h) \cdot G_m \cdot C_m \cdot A_m \cdot \cos^2 \phi_m \quad (19)$$

kjer so:

- q_p maksimalni tlak vetra,
- G_m strukturni faktor posameznega elementa stolpa,
- C_m faktor upora posameznega elementa stolpa. Priporočena vrednost znaša 1,6 za nagnjen, element. 1,6 je konzervativna vrednost predvsem določena za zgornji del stolpa,
- Φ kot med smerjo vetra in normalo na os ravnine elementa.

2.3. Obtežbe žleda

Atmosferske žledne obloge se v skladu z načinom njihovega nastanka delijo v dve glavni skupini:

- žled iz padavin, ki je lahko moker sneg ali žled,
- žled iz oblakov ali megle, iz česar lahko nastane mehko ali trdo ivje.

Obtežba žleda na enoto dolžine I_R (N/m), ki se upošteva na obravnavanem terenu, je referenčna obtežba žleda I_R .

2.3.1. Sile na vodnike zaradi žleda

Obtežbe žleda na vodnikih povzročijo povečanje navpičnih in nateznih sil v vodnikih. Navpična sila žleda na vodnike v dveh sosednjih razpetinah je:

$$Q_l = I(L_{w1} + L_{w2}) \quad (21)$$

kjer je:

- I obtežba žleda na enoto dolžine vodnika,
- L_{w1}, L_{w2} prispevka k teži razpetin dveh sosednjih razpetin.

2.3.2. Kombinacija obtežb vetra in žleda

Obtežbe vetra na zaledenele podpore in izolatorje se lahko obravnavajo podobno le, če se uporabijo ustrezni faktorji zračnega upora.

Vpliv vetra na zaledenele vodnike določajo v glavnem tri spremenljivke:

- hitrost vetra v obdobju, ko je vodnik zaledenel,
- masa žledne obloge,
- oblika žledne obloge, npr. Premer in ustrezni faktor zračnega upora.

V standardu SIST EN 50341-1 : 2013 je uporabljena poenostavljena metoda, ki upošteva dve glavni kombinaciji:

- a) Ekstremna obtežba, enaka projektni vrednosti obtežbe žleda, I_T v kombinaciji z visoko verjetnostjo hitrosti vetra, V_{IH}
- b) Nominalna obtežba žleda, I_3 v kombinaciji z majhno verjetnostjo hitrosti vetra, V_{IL}

Obtežbe vetra, ki ustrezajo različnim kombinacijam, nastopajo v vsakem primeru sočasno z dejansko obtežbo žleda (navpična obtežba).

2.3.3. Faktor zračnega upora in gostote žleda

Preglednica 3.obsega orientacijske vrednosti za gostoto različnih vrst žleda in pripadajoče faktorje zračnega upora.

Preglednica 3: Faktorji upora C_{Ic} in gostota ledu ρ_l za različne vrste ledu (SIST EN 50341-1, 2013 : str 72)

Tip ledu	Moker sneg	Tanek led	Mehek premaz ledu	Trd premaz ledu
C_{Ic}	1	1	1,2	1,1
ρ_l	500	900	300	700

2.3.4. Dinamični tlak vetra

$$q_{Ih} = \frac{1}{2} \rho \times V_{Ih}^2(h) \quad (22)$$

kjer je:

ρ gostota zraka v kg/m^3 ,

V_{Ih} hitrost vetra v višini h nad tlemi v skladu z obravnavano kombinacijo.

Maksimalni tlak vetra, $q_{I_p}(h)$ na določeni višini, h nad terenom je določen z izrazom:

$$q_{I_p}(h) = [1 + 7I_v(h)]q_{Ih}(h)$$

2.3.5. Ekvivalentni premer D vodnika z žledno oblogo

Žledne obloge so zelo različne, vendar se predpostavi, da ima enakovredno valjasto obliko s premerom:

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4I}{9,81 \times \pi \rho_l}} \quad (23)$$

kjer so:

d premer vodnika (m),

I obtežba žleda ($\frac{\text{N}}{\text{m}}$), ki ustreza kombinaciji z vetrom,

ρ_l gostota, ki ustreza vrsti žledne obloge ($\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$) in faktorju zračnega upora.

2.3.6. Sile vetra na podpore, ki jih povzročajo vodniki z žledno oblogo

Sila vetra je enaka:

- v smeri vzporedno s konzolo:

$$Q_{Wlc_V} = q_{lp}(h) \cdot G_c \cdot C_{lc} \cdot D \cdot \left[\left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \right] \cos \left(\frac{\theta_1}{2} \right) + \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \cos \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (24)$$

v smeri pravoktno na konzolo:

$$Q_{Wlc_U} = q_{lp}(h) \cdot G_c \cdot C_{lc} \cdot D \cdot \left[\left[\pm \frac{L_1}{2} \cdot \cos^2 \left(\phi + \frac{\theta_1}{2} \right) \right] \sin \left(\frac{\theta_1}{2} \right) - \frac{L_2}{2} \cos^2 \left(\phi - \frac{\theta_2}{2} \right) \sin \left(\frac{\theta_2}{2} \right) \right] \quad (25)$$

kjer so:

- G_c faktor razpetine,
- C_{cl} faktor oblike za vodnike z žledno oblogo,
- Φ vpadni kot vetra glede na kritično smer,
- θ kot spremembe smeri kabla,

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}.$$

Za kombinirano obtežbo z zmernimi hitrostmi vetra uporabimo $G_c = 0,45 + \frac{60}{L}$ za razpetine nad 200 m.

Pri izračunu natezne sile v vodniku se zaradi dolžine napenjalnega polja lahko upošteva zmanjšani učinek tlaka vetra, če terenski pogoji in višina vodnikov nad tlemi ostajajo enaki. V tem primeru je mogoče uporabiti faktor razpetine, določen na podlagi dolžine odseka.

2.3.7. Kombinacija hitrosti vetra in obtežb žleda

2.3.7.1. Ekstremna obtežba žleda I_T v kombinaciji z visoko verjetnostjo hitrosti vetra V_{IH}

Ekstremna obtežba žleda I_T s teoretično povratno dobo T let je definirana kot:

$$I_T = \gamma_I I_{50} \quad (26)$$

kjer so:

- γ_I parcialni faktor obtežbe žleda,
- I_{50} ekstremna obtežba žleda na dolžino vodnika z povratno dobo 50 let.

V kombinaciji z žledom, je hitrost vetra z veliko verjetnostjo V_{IH} enaka hitrosti V_3 s teoretično povratno dobo $T = 3$ leta, pomnoženi z redukcijskim faktorjem B_I :

$$V_{IH} = V_3 B_I \quad (27)$$

ali

$$V_{IH} = V_{50} \sqrt{\psi_W} \quad (28)$$

kjer so:

ψ_W kombinacijski faktor za vetrne obtežbe ($\psi_W = 0,4$),

V_{50} ekstremna hitrost vetra z referenčno povratno dobo 50 let.

ψ_W vključuje efekt redukcijskega faktorja B_I . Redukcijski faktor je odvisen od vrste leda oziroma žleda. Za moker sneg je redukcijski faktor enak 0,7 ter za zmrzovnje znotraj oblakov je enak 0,85.

2.3.7.2. Obtežba žleda I_3 v kombinaciji z majhno verjetnostjo hitrosti vetra V_{IL}

Nominalna obtežba žleda I_3 s povratno dobo 3 let je definirana kot :

$$I_3 = \psi_I I_{50} \quad (29)$$

kjer je:

ψ_I kombinacijski faktor za obtežbo z žledom.

V povezavi z ledom, je hitrost vetra z majhno verjetnostjo V_{IL} , določena kot ekstremna hitrost vetra V_T s povratno dobo T let, pomnožena z redukcijskim faktorjem B_I , določena kot:

$$V_{IL} = V_T B_I = (V_{50} \sqrt{\gamma_W}) B_I \quad (30)$$

Pristop k dimenzioniranju, kjer je uporabljena povratna doba 3 let za en meteorološki parameter v povezavi z drugim ekstremnim parametrom predpostavlja, da fenomen žleda in vetra natopata neodvisno. Če razpoložljivi statistični podatki za določeno regijo, kažejo drugače kot določa standard, potem se morajo uporabiti modificirani kombinacijski faktorji tudi, če so nižji od faktorjev določenih s standardom.

2.4. Temperaturni vpliv

Temperaturni vplivi lahko učinkujejo v petih različnih projektnih situacijah. Odvisni so tudi od drugih podnebnih vplivov, če so ti prisotni.

- Najnižja temperatura, ki se upošteva brez drugih podnebnih vplivov, če je to pomembno.
- Običajna temperatura okolice, ki se predpostavlja ob ekstremni hitrosti vetra.
- Po potrebi zmanjšana hitrost vetra, kombinirana z najnižjo temperaturo, če je to pomembno.
- Temperatura, ki se predpostavlja z nastajanjem žledne obloge. Za obe glavni vrsti nastajanja žledne obloge se lahko predpostavi temperatura 0°C, če ni določeno drugače. Nižja temperatura naj bi se upoštevala na območjih, kjer temperatura po sneženju pogosto močno pade.
- Temperatura, ki se upošteva pri kombinaciji vetra in žleda.

2.5. Obtežbe med gradnjo in vzdrževanjem

Obtežbe med gradnjo in vzdrževanjem so v standardu določene tako, da zagotavljajo minimalne zahteve glede torzijskega in vzdolžnega odpora podpor, z upoštevanjem odpovedi stalnih obtežb. Obravnavane obtežbe so posledica pretrga kablov na eni strani daljnovodnega stebra in neuravnoveženih obtežb na daljnovod.

2.6. Obtežbe, povezane s težo monterjev

Značilna obtežba konzole zaradi graditve in vzdrževanja ne sme biti manjša od 1,0 kN, pri čemer je treba upoštevati, da deluje skupaj s stalnimi obtežbami, in če je to pomembno, z drugimi zunanjimi obtežbami. Pri jeklenih paličnih konstrukcijah se predpostavi, da te obtežbe delujejo v najneugodnejšem vozlišču spodnjega pasu konzole, v vseh drugih primerih pa v osi konzole v obesišču vodnika. Nameščeni delovni odri ali ploščadi morajo biti dimenzionirani za največje obtežbe.

Za vse elemente na katere je mogoče stopiti in so nagnjeni za manj kot 30° proti vodoravnici, je treba na sredini elementa predpostaviti značilno obtežbo 1,0 kN navpično, vendar brez kakršnihkoli drugih obtežb. Pri predmontaži na tleh naj bi bile upoštevani dodatne zahteve in preventivni ukrepi. Kakršnikoli vzpenjalni klini morajo biti dimenzionirani za značilno obtežbo 1,0 kN, ki deluje v navpično statično neugodni legi. Pri dimenzioniranju vodnikov, pribora in podpor, vključno s temelji, po metodi mejnih stanj je treba upoštevati tisti obtežni primer, ki povzroči največji učinek na vsakem posameznem elementu v konstrukciji. Kadar zunanja obtežba zmanjšuje napetosti v posameznih elementih ali prečnih prerezih, je treba v analizi privzeti posebni obtežni primer, v katerem se vstavi obtežba, ki vodi k razbremenitvi z najnižjo vrednostjo, medtem ko ostali deli obtežb ostanejo nespremenjeni. Nategi v vodniku morajo biti določeni skladno z obtežbami, ki v obravnavanem primeru delujejo na vodnik. Pri tem je treba primerno upoštevati vpliv komponent nateznih sil v vodniku na obesišče podpore, vključno z učinkom navpičnih in vodoravnih kotov. Kadar so tokokrogi večsistemske podpore ali sestavljeni vodniki snopa v začetku samo delno nameščeni, je treba ta pogoj upoštevati tudi pri projektiranju.

2.7. Standardne obtežne kombinacije

Preglednica 4: Standardne obtežne kombinacije (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 77)

Primer obtežbe	Pogoji	Opomba
1a	Obtežba vetra	glej (a)
2a	Enakomerne obtežbe žleda v vseh razpetinah	če je pomembno, glej (b) glej (c) če je pomembno, glej (d)
2b	Enakomerne obtežbe žleda, upogib prečno	
2c	Neenakomerne obtežbe žleda, upogib vzdolžno	
2d	Neenakomerne obtežbe žleda, torzijski upogib	
3	Kombinirane obtežbe vetra in žleda	glej (e)
4	Minimalne temperature z/brez obtežbe vetra	če je pomembno
5a	Torzijske obtežbe	Upoštevanje reduciranih varnostnih faktorjev za material
5b	Vzdolžne obtežbe	
6a	Varnostne obtežbe, konstrukcijske in obratovalne obtežbe	
6b	Varnostne obtežbe, obtežba zaradi teže vzdrževalca	

Vsi obtežni primeri morajo vključevati navpične komponente stalnih vplivov. Če stalni vplivi zmanjšujejo učinek drugih vplivov, kot je vzgon na temelje, je treba pri računanju nateznih sil uporabiti najmanjše vrednosti stalnih vplivov, na primer najmanjše dopustno razmerje med gravitacijsko in vetrno razpetino.

Opis za točke od (a) do (e), kakor so navedene v preglednici (4):

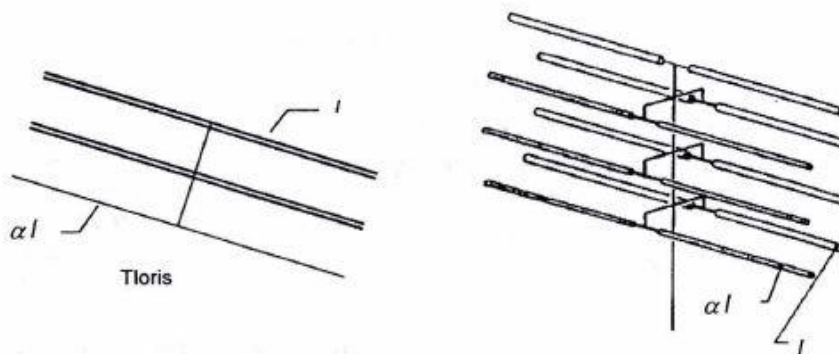
- Upoštevati je treba delovanje vetra pravokotno na smer voda in v vseh smereh, ki bi lahko bile bistvene za projektiranje. Opomba: Smer vetra pravokotno na smer voda ali pod kotom 45° je ponavadi odločilna za večino podpor. Tudi vse druge smeri so lahko kritične, odvisno od simetričnosti razporeditve vodnikov, od lomnih kotov voda itd. Kot možnost pri projektiranju obravnavane podpore se lahko upošteva obtežba vetra na vse razpetine z ene smeri, ki rezultira v vzdolžno obtežbo na podporo, če ta pogoj ni že zadostno upoštevan v sklopu drugih predpisanih primerov obtežb.
- V primeru obtežbe 2b je treba raziskati zmanjšano obtežbo žleda, ki je enaka značilni obtežbi žleda, pomnoženim s faktorjem zmanjšanja α na vse vodnike in na vse prečne konzole na eni strani podpore (glej sliko 5). Če je ta primer obtežbe mogoče zanemariti, se vzame faktor α enak 1.
- V primeru obtežbe 2c je treba značilno obtežbo žleda na vseh vodnikih na vseh prečnih konzolah v eni smeri voda pomnožiti s faktorjem zmanjšanja α_1 na vseh vodnikih z druge smeri pa s faktorjem α_2 (glej sliko 6).
- V primeru obtežbe 2d je treba značilno obtežbo žleda na vodnikih v vseh obesiščih z ene strani podpore in v eni smeri voda pomnožiti s faktorjem zmanjšanja α_3 . Značilno obtežbo žleda na vseh drugih vodnikih je treba pomnožiti s faktorjem zmanjšanja α_4 , da se zagotovi največja torzijska obremenitev (glej sliko 7). Število vodnikov z različno

obtežbo je v nacionalnem standardu lahko določeno tudi drugače. Kjer je mogoče takšen pogoj obtežbe zanemariti ali če so v nacionalnih standardih upoštevane drugače določene obtežbe, se za α_3 in α_4 vzame vrednost 1.

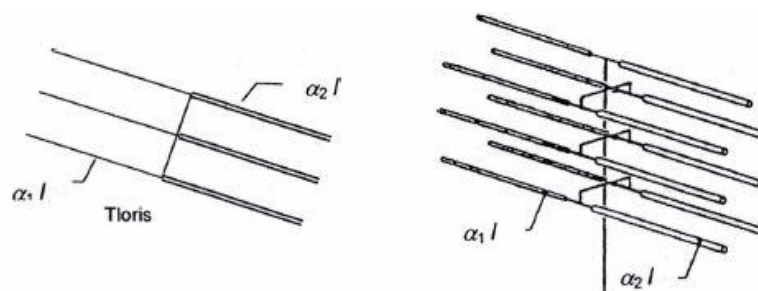
- e) Pri projektiranju določenih podpor se lahko kot možnost upoštevajo neenake sočasne obtežbe vetra in žleda, če je to upravičeno zaradi lokalnih posebnosti in ni že upoštevano v drugih primerih obtežb. Obtežba vetra in/ali žleda se upoštevata na vseh vodnikih vseh konzol podpore samo v eni smeri, kar povzroči vzdolžne obtežbe. Neenakomerna obtežba žleda se v splošnem lahko pojavi v treh zaporednih razpetinah. Vendar pa se lahko v nacionalnem standardu zahtevajo zmanjšane obtežbe žleda v vseh razpetinah z ene strani podpore.

Opomba: Če v nacionalnem dodatku ni določeno drugače, se lahko za faktorje zmanjšanja privzamejo naslednje vrednosti:

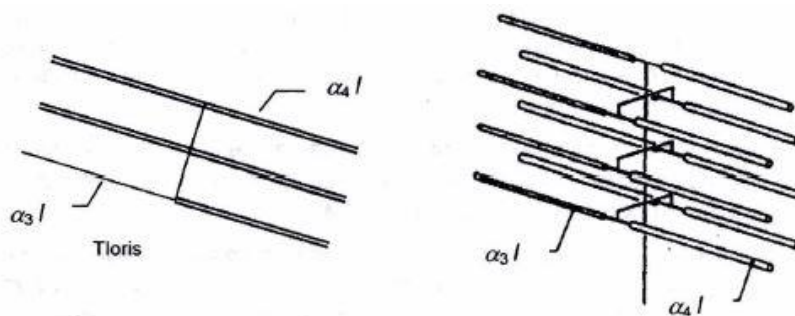
$$\alpha = 0,3; \alpha_1 = 0,3; \alpha_2 = 0,7; \alpha_3 = 0,3; \alpha_4 = 0,7$$



Slika 5: Upogib prečno (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 79)



Slika 6: Upogib vzdolžno (SIST EN 50341 - , 2013 : str 79)



Slika 7: Torzijski upogib (SIST EN 50341 – 1, 2013 : str 79)

2.7.1. Delni faktorji za vplive

Preglednica 5: Delni varnostni faktorji in kombinacijski faktorji, mejna stanja nosilnosti (SIST EN 50341-1, 2013 : str 80)

Vplivi	Simbol	Nivo zanesljivosti		
		1	2	3
spremenljivi vplivi: ekstremna obtežba vetra nominalna obtežba vetra ekstremna žledna obtežba nominalna žledna obtežba	γ_w ψ_w γ_l ψ_l	1,0 0,4 1,0 0,35	1,2 0,4 1,25 0,35	1,4 0,4 1,5 0,35
stalni vplivi: lastna teža	γ_G	1,0		
nezgodni vplivi torzijska obtežba vzdolžna obtežba	γ_{A1} γ_{A2}	1,0 1,0		
varnostni vplivi obtežbe pri gradnji in vzdrževanju	γ_P	1,5		

3 PRIMER: ANALIZA 400 kV STEBRA

3.1. Uvod

Pri analizi daljnovodnega stebra sem se osredotočil predvsem na delovanje dodatnih zunanjih sil, kot sta veter in žleda v kombinaciji s stalnimi obtežbami, na celotno palično konstrukcijo. Celotnega postopka sem se lotil s pomočjo prenovljenega standarda SIST EN 50341-1 : 2013 in nacionalnega dodatka (NNA). V nacionalnem dodatku so določene vrednosti hitrosti vetra, teža žledu ter dodatne obtežne kombinacije, ki jih je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju (preglednica 6).

Preglednica 6: Primeri obtežb (SIST EN 50341-3-21, 2009 : str 16)

Primeri obtežb	Upoštevanje obtežbe	Natezne sile v vodnikih pri temperaturi °C
Vremensko pogojene obtežbe		
A	Stalne obtežbe in obtežbe vetra v smeri X	+5°C
B	Stalne obtežbe in obtežbe vetra v smeri Y	+5°C
C	Stalne obtežbe in obtežbe vetra na vogal	+5 °C
D	Stalne obtežbe, 30 % obtežbe vetra v smeri X in obtežbe žleda	-5 °C
E	Stalne obtežbe, 30 % obtežbe vetra v smeri Y in obtežbe žleda	-5 °C
F	Stalne obtežbe, 30 % obtežbe vetra na vogal in obtežbe žleda	-5 °C
G	Stalne obtežbe ali	-20 °C ali
	stalne obtežbe in 50 % obtežb žleda v razpetini na eni strani stebra ter brez obtežb žleda v razpetini na drugi strani stebra	-5 °C

OPOMBA: Primer obtežbe G je treba dodatno uporabiti v primeru vzgonskih obtežb

Primeri obtežb	Upoštevane obtežbe	Natezne sile v vodnikih pri temperaturi °C
Obtežbe razbremenilnih in kotnih razbremenilnih stebrov Predpostavi se, da so ti stebri obremenjeni z vsemi predvidenimi sistemi (montirane vse vrvi). Enostranska polna vodoravna natezna sila v enem vodniku in dvotretjinska enostranska vodoravna sila v vsakem od ostalih vodnikov na		

eni strani stebra v smeri osi voda.		
H	Stalne obtežbe ali	-20 ° C ali
	Stalne obtežbe in obtežbe žleda vseh vodnikov	-5 ° C

Primeri obtežb	Upoštevane obtežbe	Natezne sile v vodnikih pri temperaturi °C
Izredne obtežbe neenakomernega žleda		
J	Stalne obtežbe in obtežbe žleda	-5 ° C

Pri stebrih, ki nosijo do dva trifazna sistema, je treba predpostaviti, da v odvisnosti od tipa stebra deluje zmanjšana vodoravna natezna sila enega vodnika z ene strani. Pri več kot dvosistemskih stebrih je treba za vsak dodatni sistem dodatno upoštevati zmanjšanje te obtežbe za polovico.

Pri enofaznih vodih imenične napetosti se gornje pravilo smiselno uporabi glede na število vodnikov.

Pri nosilnih in kotnih nosilnih stebrih se vodoravna natezna sila enega vodnika zmanjša na eni strani na naslednji način:

- pri enojnih vodnikih za 50 %
- pri snopastih vodnikih za 25 %
- pri zaščitnih vrveh za 50 %

Če je z ustreznimi konstrukcijskimi ukrepi preprečena ali zmanjšana torzijska obremenitev stebra (drsne spojke, členkasto priključene konzole, posebno sidranje ali podobno), se sme to upoštevati v mejah, ki so dosežene s temi ukrepi.

Pri kotnih, razbremenilnih, kotnih razbremenilnih, končnih in kotnih končnih stebrih je treba predpostaviti vodoravno natezno silo enojnega vodnika ali enega snopastega vodnika, enostransko zmanjšano za 100 %.

Primeri obtežb	Upoštevanje obtežbe	Natezne sile vodnikov pri temperaturi °C
Izredne obtežbe neenakomernega žleda		
K	Stalne obtežbe in obtežba žleda	-5 °C
<p>Pri nosilnih in kotnih nosilnih stebrih je treba za vse vodnike predpostaviti vodoravno natezno silo, zmanjšano z ene strani voda:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pri podpornih izolatorjih in izolatorskih verigah, dolgih 2,5 m, za 20 %, - pri izolatorskih verigah, daljših od 2,5 m, za 15 %, - pri zaščitnih vrveh za 40 % <p>Pri kotnih, razbremenilnih in kotnih razbremenilnih stebrih je treba enostransko zmanjšati vodoravno natezno silo vseh vodnikov za 40 %.</p>		

3.2. Opis daljnovoda

Daljnovodni stolp (400 kV) je 59,7 m visoka konstrukcija sestavljena iz palic in je značilne oblike, ki jo imenujemo sod. Poleg jeklene konstrukcije so v objekt vključeni še izolatorji, vodniki in zaščitne vrvi.

Objekt je razdeljen na 3 dele. Spodnji del predstavljajo noge s torzijskim obročem, srednji del predstavlja trup in zgornji del predstavlja konica daljnovoda skupaj s šestimi paličnimi konzolami.

Spodnji in srednji del daljnovoda sta sestavljena iz vogalnikov, ki jih povezujejo križne diagonale medtem, ko imamo v konici vogalnike povezane z enojnimi diagonalami.

V izračunih je upoštevano, da se objekt nahaja na območju Beričeva kar pomeni, da se nahaja v žledni coni 1, kjer znaša faktor žledne cone $f = 1,6$, ter v vetrovni coni 1 kjer imamo osnovno hitrost vetra 20 m/s. Glede na vetrovno cono se upošteva tudi ustrezen tlak vetra na daljnovod, ki znaša do višine 40 m, 600 Pa in za višine nad 40 m, 700 Pa.

Imamo vodoravne snope vodnikov tipa 2 x 3 x 2 490/65 Al/Fe in zaščitno vrv tipa 240/55 AlMg1/Fe. Največja napenjalna napetost v vodniku znaša 16000 N/m ter za zaščitno vrv 8000 N/m .

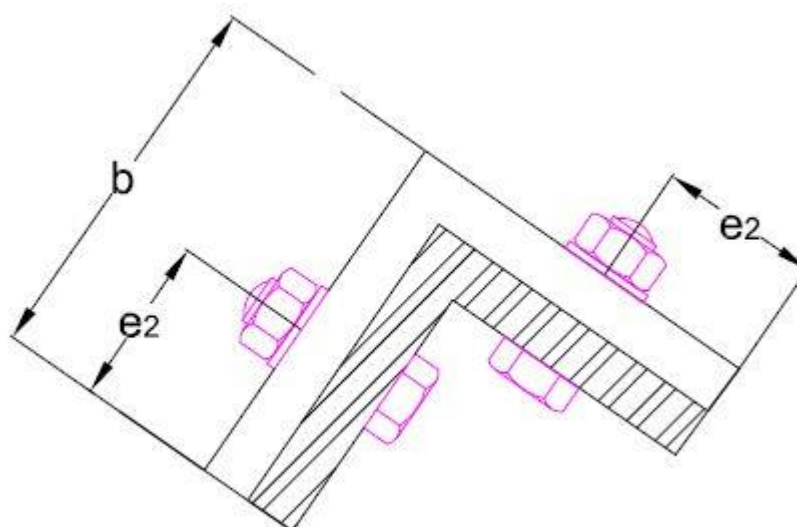


Slika 8: Primer 400 kV daljnovoda oblike "sod"

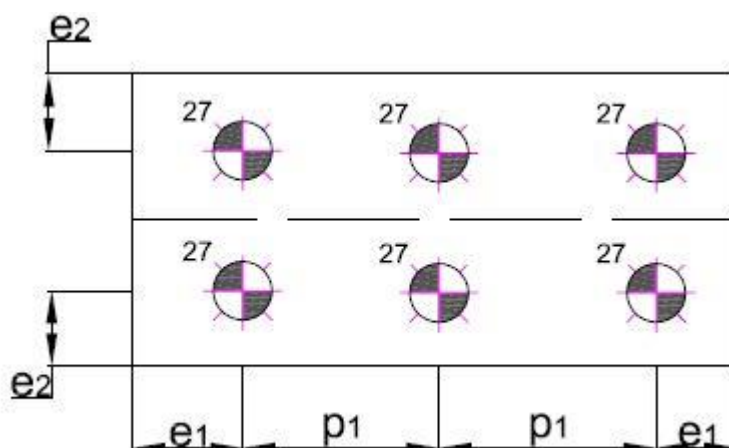
3.3. Določitev in kontrola nosilnosti vijakov

Vijaki v preklopnih spojih so določeni v skladu z Evrokodom EC-3. Primer določitve vijakov je prikazan le na enem spoju, ki je tlačno obremenjen. Spoj je izveden med dvema enakima kotnima elementoma $L 140 \times 140 \times 15$ v prvem segmentu daljnovodnega stebra nad torzijskim obročem. Uporabljeni so vijaki M 27 mm in kvalitete 8.8. Uporabljen material kotnikov in pločevin je S 355.

Primer kontrole vijakov naredimo na osnovi strižne nosilnosti za eno strižno ravnino in nosilnosti na bočni pritisk vijaka.



Slika 9: Prerez preklpnega spoja



Slika 10: Tlorisna projekcija preklonnega spoja

Preglednica 7: Lastnosti vijaka dobljene po EC-3 (SIST EN 1993 – 1 – 8)

Kvaliteta vijaka	d [mm]	A_s [cm ²]
8,8	M27	4,59

Tlačna osna sila v palici znaša $N_{Ed} = 796,63$ kN.

Iz pogoja strižne odpornosti vijaka dobimo ustrezno število vijakov n

$F_{f,Ed} \leq m \cdot n \cdot F_{V,Rd}$ kjer so

m število strižnih ravnin

n št vijakov

$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$ strižna nosilnost za eno strižno ravnino ($\gamma_{M2} = 1,25$)

Ker imamo samo eno strižno ravnino se izraz poenostavi in dobimo:

$$n = \frac{F_{f,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{796,63}{176,256 \text{ kN}} = 4,5$$

Izberem 6 vijakov v stiku na obe ploskvi L-kotnika.

Določimo dimenzije vezne pločevine na podlagi razdalje med vijaki ter oddaljenosti vijakov od roba pločevine.

$$e_1 = 2d_0 = 2 \cdot (27 \text{ mm} + 3 \text{ mm}) = 60 \text{ mm} = 6 \text{ cm}$$

$$e_2^* = 1,5d_0 = 1,5 \cdot (d + 3 \text{ mm}) = 1,5 \cdot (27 \text{ mm} + 3 \text{ mm}) = 45 \text{ mm} = 4,5 \text{ cm}$$

$$p_1 = 3d_0 = 3 \cdot (27 \text{ mm} + 3 \text{ mm}) = 9 \text{ cm}$$

$$p_2^* = 3d_0 = 3 \cdot (27 \text{ mm} + 3 \text{ mm}) = 9 \text{ cm}$$

Za debelino pločevine t_v lahko predpostavimo, da je enaka kot debelina pasnice L-kotnika.

Vzamemo, da je $t_v = 15 \text{ mm} = 1,5 \text{ cm}$

Preverimo še nosilnost vijaka na bočni pritisk $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}} \text{ kjer so}$$

d premer vijaka

d_0 premer luknje

$$\alpha_b = \min \left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right)$$

V smeri delovanja obtežbe: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$ (robni vijak), $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ (notranji vijak)

Pravokotno na smer delovanja obtežbe: $k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \right)$

(robni vijak)

$$k_1 = 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \text{ (notranji vijak)}$$

$\alpha_d = \frac{6}{3 \cdot 3} = 0,67$ in $\alpha_d = \frac{9}{3 \cdot 3} - \frac{1}{4} = 0,75$, ker računamo za vse vijake upoštevamo manjšo od obeh vrednosti.

$$k_1 = \min(2,5 \leq 2,5; 2,5 \leq 2,5)$$

$$\alpha_b = \min(0,67; 1,63; 1,0)$$

$$F_{b,Rd} = \frac{0,67 \cdot 2,5 \cdot 49 \text{ kN/cm}^2 \cdot 2,7 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm}}{1,25} = 332,404 \text{ kN}$$

Preverimo še dobljeno število vijakov glede na kontrolo bočnih pritiskov v pločevini :

$n F_{b,Rd} \leq F_{V,Ed}; n \rightarrow 6 \cdot 332,404 \text{ kN} \leq 796,63$ in dokažemo, da število vijakov, dobljenih iz kontrole glede strižne nosilnosti zadošča tudi za zagotovitev kriterijev glede nosilnosti na bočni pritisk.

Ustrezne vrednosti za natezno trdnost jekla f_u , nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y , ter največji dovoljeni premer luknje, dobimo na osnovi preglednice 8 in preglednice 9, ki sta podani v SIST EN 1993 – 1 – 8.

Preglednica 8: Nominalne vrednosti napetosti tečenja f_y in natezne trdnosti f_u za vroče valjana konstrukcijska jekla po EC – 3 (SIST EN 1993 – 1 – 8).

Standard in kvaliteta jekla	Nominalna debelina elementa			
	$t \leq 40$ mm		$t \geq 40$ mm	
	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]	f_y [N/mm ²]	f_u [N/mm ²]
EN 10025-2				
S235	235	360	215	360
S275	275	430	255	410
S355	355	490	335	470
S450	440	550	410	550

Preglednica 9: Največji dovoljeni premer luknje po EC – 3 (SIST EN 1993 – 1 – 8)

Premer	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27 in več
Standardne okrogle luknje d_0	13	15	18	20	22	24	26	$d + 3$ mm
Povečane okrogle luknje d_{op}	15	17	20	22	24	26	30	$d + 3$ mm
Kratke podaljšane luknje l_k	16	18	22	24	26	28	32	$d + 3$ mm
Dolge podaljšane luknje l_d	$2,5d$							

3.4. Dimenzioniranje

Pri analizi 400 kV daljnovodnega stebra sem se osredotočil predvsem na določitev ustreznih L-kotnikov in vijakov posameznih odsekov stebra glede na pripadajoče notranje sile. S pomočjo 2D projekcij posameznih stranic daljnovodnega stebra sem sestavil 3D model, ki sem ga nato kot DWG datoteko izvozil v program za statično analizo Scia Engineer.

Analize stebra smo se lotili tako, da smo s pomočjo slovenskega standarda SIST EN 50341-1: 2013 Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV ter nacionalnega dodatka (NNA) SIST 50341-3-21: 2009 določili dodatne obremenitve glede na različne vremenske pogoje ob upoštevanju obremenitev zaradi napanjanja kablov. Kot dodatne obtežbe upoštevamo veter in žled ter različne obtežne kombinacije obeh medtem, ko med stalne obtežbe definiramo napetosti v kablilih zaradi napanjanja (v horizontalni in vertikalni smeri).

Za izračunane obtežbe s pomočjo programa Excel na osnovi standarda SIST EN 50341-1 : 2013 upoštevamo obtežne kombinacije iz nacionalnega dodatka SIST 50341-3-21 : 2009, ki so navedene v tabeli 6. Izvedena je linearna elastična globalna analiza konstrukcije. Postopek določevanja ustreznega kotnika je potekal iterativno. Po določitvi poljubnega L-kotnika in nanosu obremenitve iz standarda zaženemo analizo v programu. Poleg obtežb smo definirali še obtežne kombinacije na osnovi katerih naredimo ovojnico, ki nam poda kritične obremenitve posameznih elementov. S pomočjo dobljenih sil v palicah bi lahko avtomatsko dimenzionirali z uporabo modula, ki ga omogoča program, vendar sem zaradi nepoznavanja in neizkušenosti dimenzioniranje izvedel ročno s programom Excel, kjer sem uporabil bazo standardiziranih L-

profilov podjetja ArcelorMittal. Ustrezno dimenzijo profila določimo glede na pripadajočo silo in uklonsko dolžino.

4 ZAKLJUČEK

Izdelava diplomske naloge mi je omogočila, da sem pridobil veliko novega znanja, saj se s projektiranjem celotne nosilne konstrukcije od obtežbe do določitev končnih dimenzij na tej stopnji študija še nismo srečali.

Obtežbe, ki delujejo na daljnovodni steber so: lastna in stalna obtežba, napenjalna sila v vrhah ter obtežba vetra in žledu. Vpliv vetra določimo glede na vetrovno cono v kateri se objekt nahaja in nato njegov vpliv na vodnike, izolatorske sklope in palične stebre. Upoštevati je potrebno tudi različne smeri delovanja vetra, ki so definirane v standardu 0° , 45° in 90° glede na smer vzporedno palični konzoli. Različne smeri delovanja vetra upoštevamo tudi pri kombinaciji vetra in žleda, kjer upoštevamo žledne cone za območje Slovenije. Nacionalni dodatek določa žledne cone na osnovi katerih, glede na geografski položaj objekta, določimo ustrezno žledno obtežbo. Žled povzroči dodatne natezne sile v vodnikih saj se z njegovim nalaganjem radialno okrog vodnika poveča premer in s tem tudi površina na katero deluje vetrna obtežba. V kombinacijah iz nacionalnega standarda, ki jih upoštevamo, so posebej zajeti vplivi vetra in žleda ter skupen vpliv obeh zunanjih dejavnikov.

Zadnji del naloge predstavlja analizo in vrednotenje rezultatov. Na osnovi dobljenih rezultatov oziroma pripadajočih sil v palicah na posameznem odseku smo določili ustrezne profile. Za lažjo izbiro kotnikov smo s pomočjo knjižnice profilov iz podjetja ArcelorMittal, ki smo jih uvozili v Excel, določili pripadajoče L-kotnike za vsak segment. Slednjega smo dobili z razdelitvijo daljnovoda po višini. Spoje smo dimenzionirali v skladu s standardom SIST EN 1993 – 1 – 8. Določili smo potrebne dimenzije in število vijakov ter geometrijo preklopnih pločevin.

Rezultati pričujočega diplomskega dela so pokazali, da se največje sile pojavijo v spodnjem delu nog in v spodnjem torzijskem okviru daljnovodnega stebra in se manjšajo proti vrhu, kar je tudi pričakovano. Največje sile pri tem prenašajo kotni elementi. Ugotovljeno je bilo tudi, da v večini diagonal nastopajo zelo majhne sile v primerjavi z ostalimi elementi daljnovodnega stebra. Posebno pozornost je treba posvetiti le diagonalam, ki se nahajajo v bližini vozlišč, kjer so prisotne velike koncentrirane obtežbe. Ta vozlišča se nahajajo nad vpetjem noge daljnovodnega stebra v temelj.

Vsekakor velja izpostaviti dejstvo, da obstaja še dosti drugih pristopov dimenzioniranja daljnovodnih stebrov, ki pa jih zaradi prevelike obsežnosti in časovne omejitve nisem uspel preučiti in opisati v diplomskem delu.

VIRI

Beg, D. (ur.), Pogačnik A. (ur.) 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: loč. pag.

Eles. 2014. Daljnovod 2x400 kV Beričevo-Krško v poskusnem obratovanju. Ljubljana
<http://www.eles.si/dv-2x400-kv-bericevo---krsko.aspx> (Pridobljeno 15. 8. 2014.)

NEMETSCHEK Scia. 2011. Advanced Concept training- Non Linear and Stability.
<http://downloads.scia-online.com/support/SciaEngineer/Manuals/2011/Training%20Manuals/Nonlinear%20&%20Stability/%5BEng%5DNonlinear%20&%20stability%202011.0%20v1.pdf> (Pridobljeno 22. 8. 2014.)

NEMETSCHEK Scia. 2011. Advanced Concept training- Steel Code Check.
<http://downloads.scia-online.com/support/SciaEngineer/Manuals/2011/Training%20Manuals/Steel%20Code%20Check/%5BEng%5DSteel%20Code%20Check%202011.0%20v1.pdf> (Pridobljeno 22. 8. 2014.)

Rebolj, J. 2002. Zasnova 400 kV daljnovodnih stebrov v luči novih evropskih predpisov. Diplomski naloga. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Rebolj, J.): str. 6, 13, 40-42.

Zadnik, B. 2006. Fenomen žleda in njegov vpliv na objekte za prenos električne energije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 19, 21, 40, 41.

Standardi:

SIST EN 50341-3-21 : 2009. Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 3-21. del: Nacionalno normativna določila (NNA) za državo Slovenijo (na podlagi SIST EN 50341 – 1: 2002).

SIST EN 50341 – 1 : 2013. Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila.

SIST EN 1993 – 1 – 8. Evrokod 3: Globalna analiza – 3. del: Modeliranje jeklenih konstrukcij

PRILOGE

Priloga A : Slike daljnovodnega stebra iz programa za statično analizo Scia Engineer

- A.1 Daljnovodni steber
- A.2 Noge daljnovodnega stebra
- A.3 Konzole

Priloga B : Obremenitve na daljnovodni steber

- B.1 Napenjalne sile v vozliščih
- B.2 Sile vetra
- B.3 Kombinacija vetra in žleda

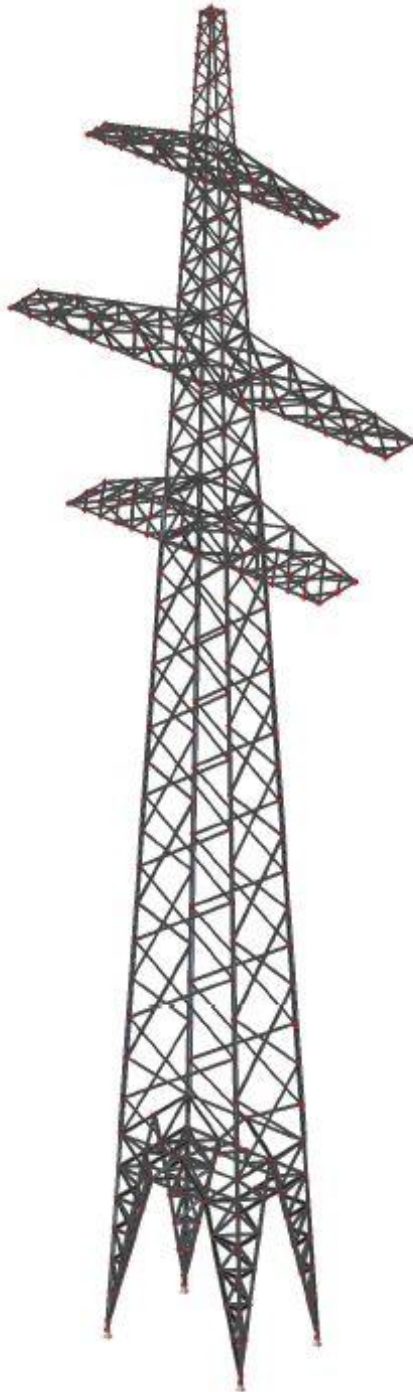
Priloga C : Obtežna kombinacija po SIST EN 50341 – 3 – 21 : 2009

- C.1 Obtežni primer J (glej preglednico 6)

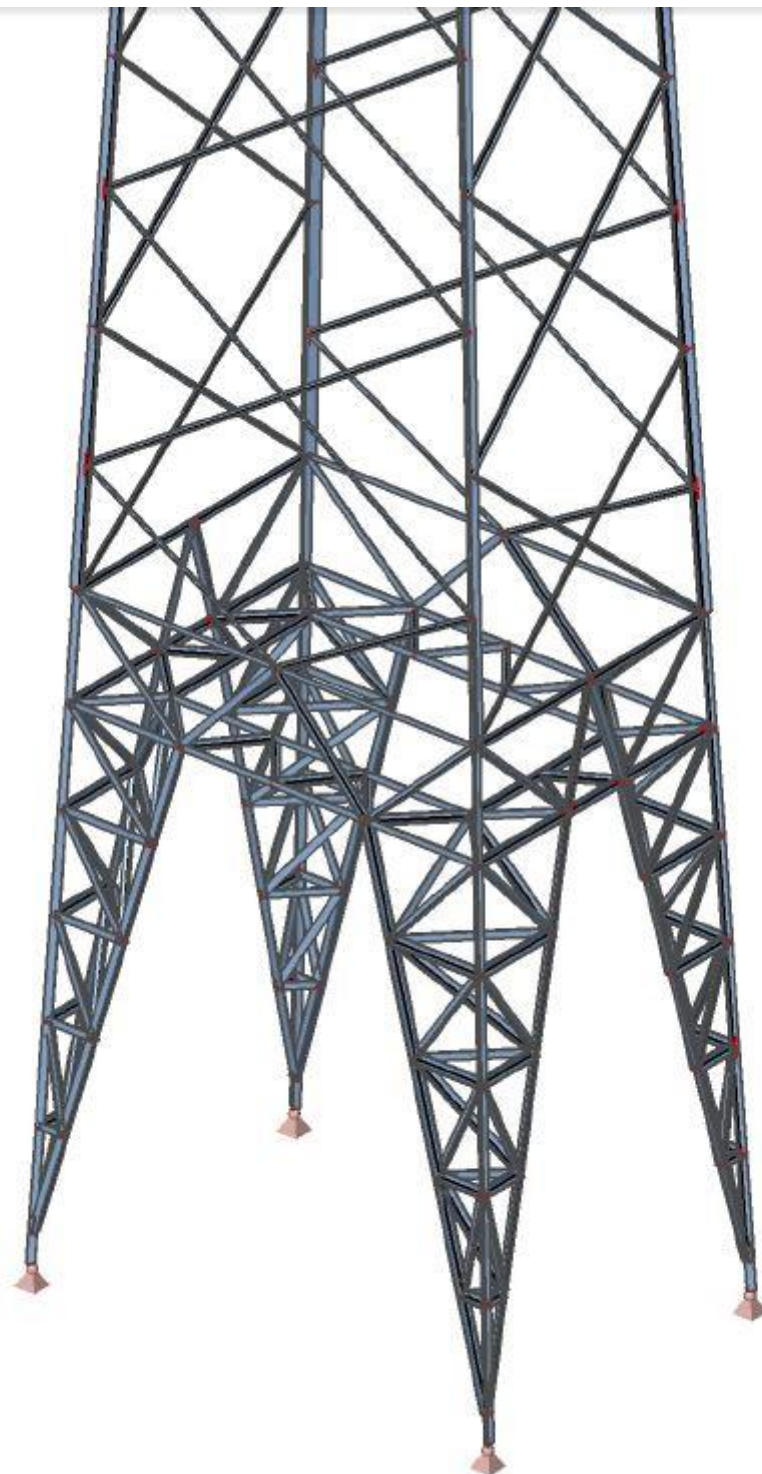
Priloga D : Slike notranjih sil

- D.1 Notranje sile v križnih diagonalah na eni strani stebra
- D.2 Notranje sile v kotnih elementih noge daljnovodnega stebra

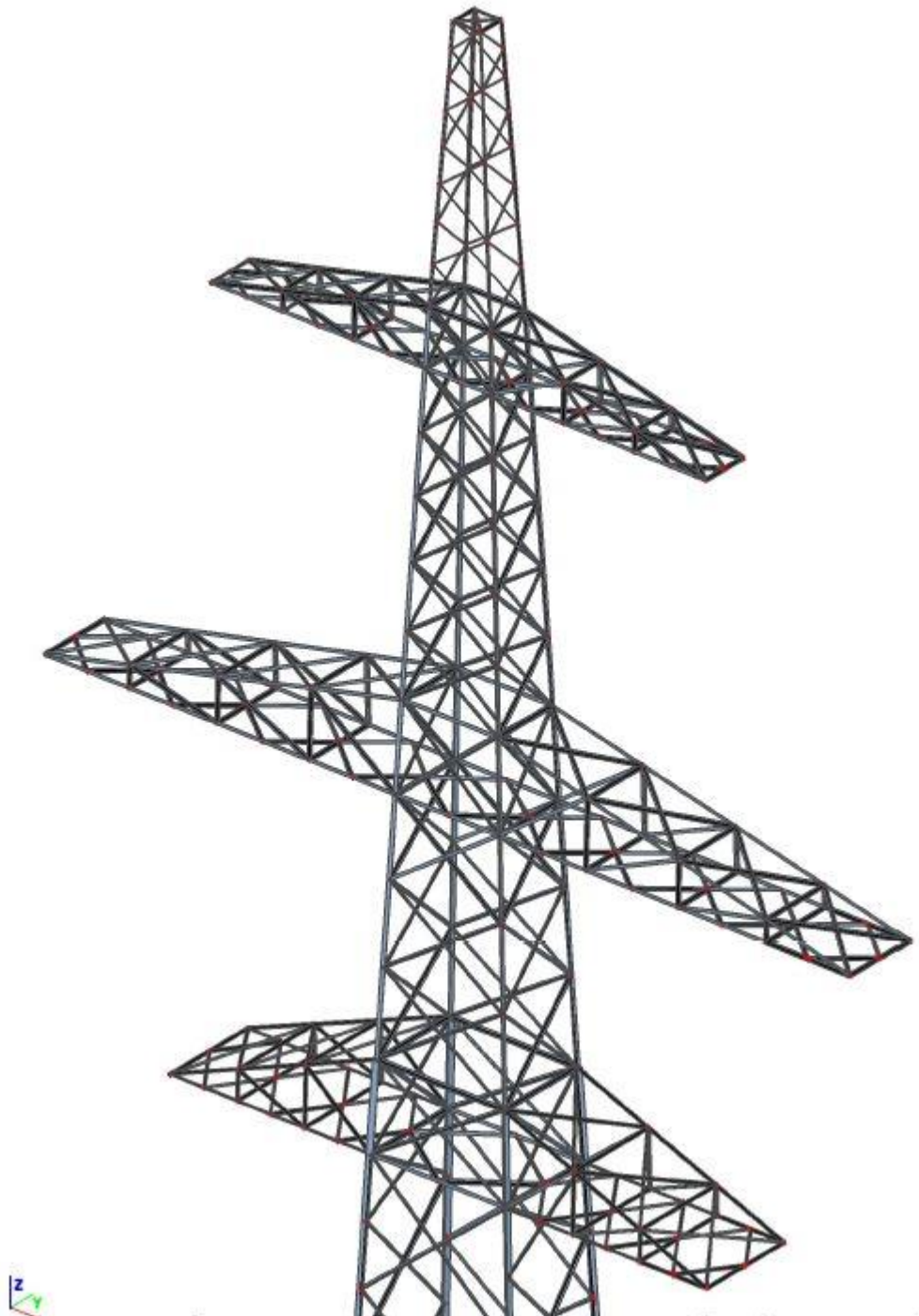
A.1



A.2

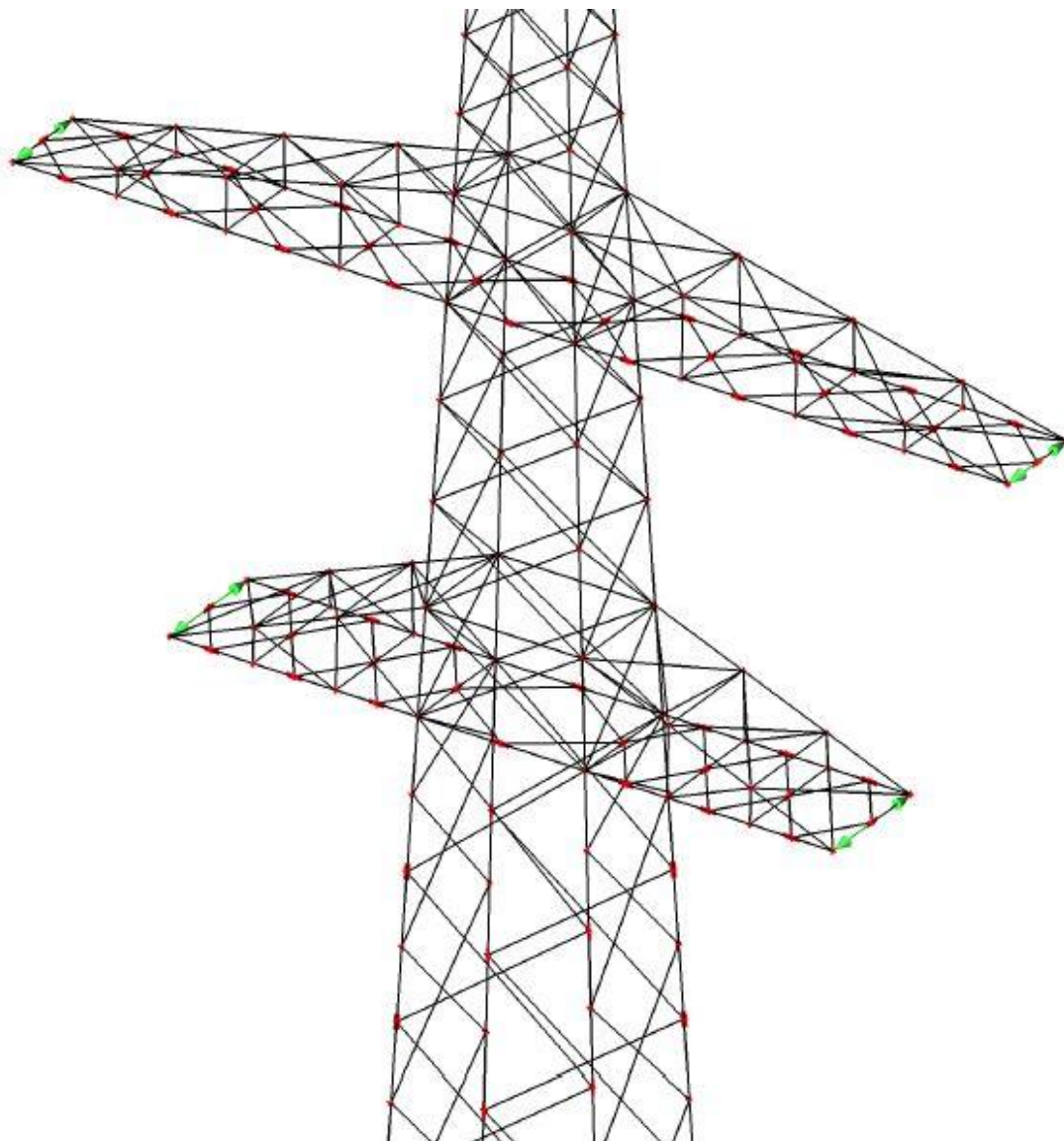


A.3

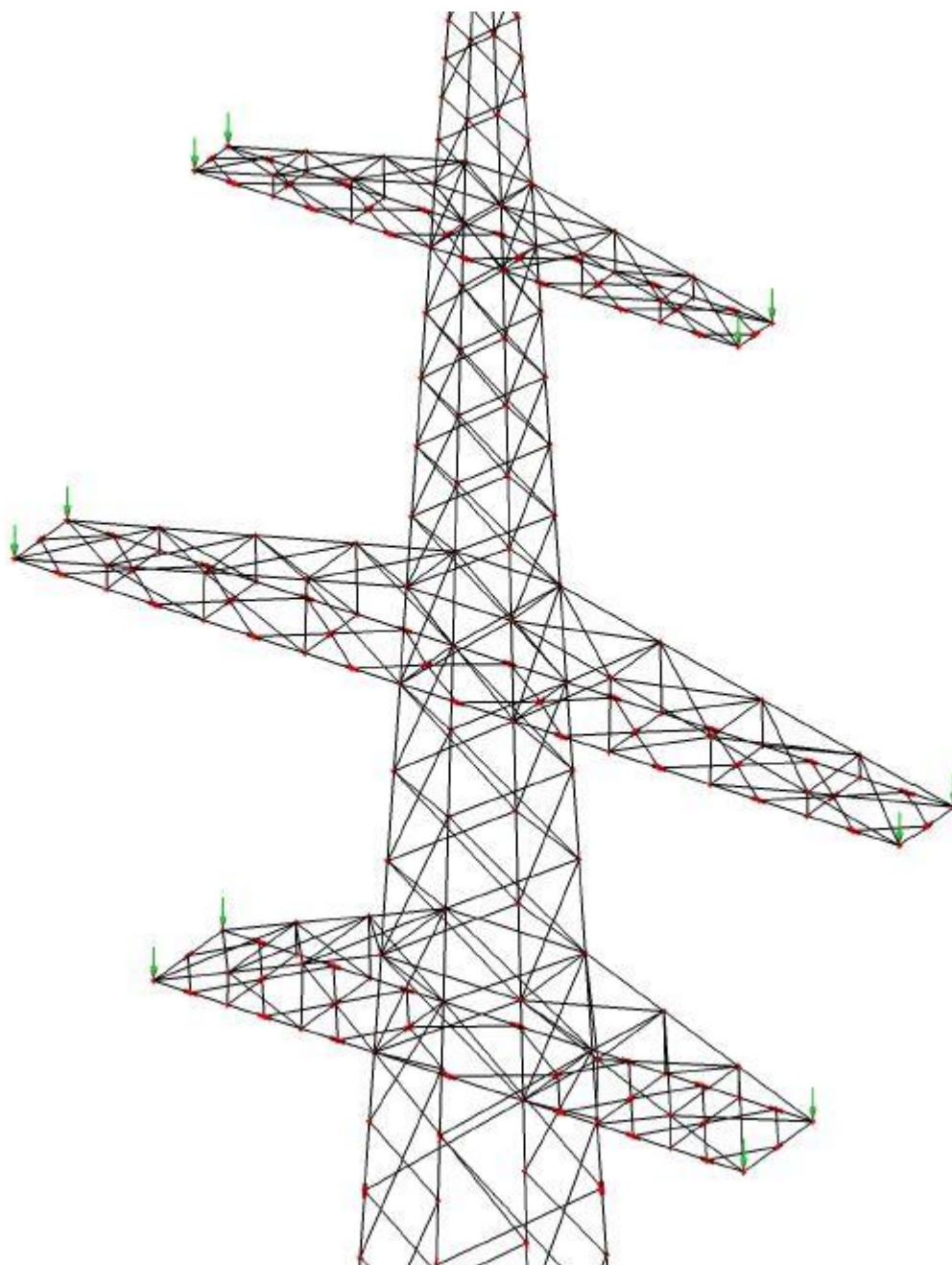


B.1

HORIZONTALNE IN VERTIKALNE SILE V KABLIH						
VODNIK				ZAŠČITNA VRV		
T(°C)	Lg(m)	GV(kN)	GH(kN)	Lg(m)	GV(kN)	GH(kN)
-20	450	8,37	24,294054	450	4,9815	16,0704
-5	450	15,5391178	44,312	450	11,11529	32,736
5	450	8,37	24,255281	450	4,9815	15,98112



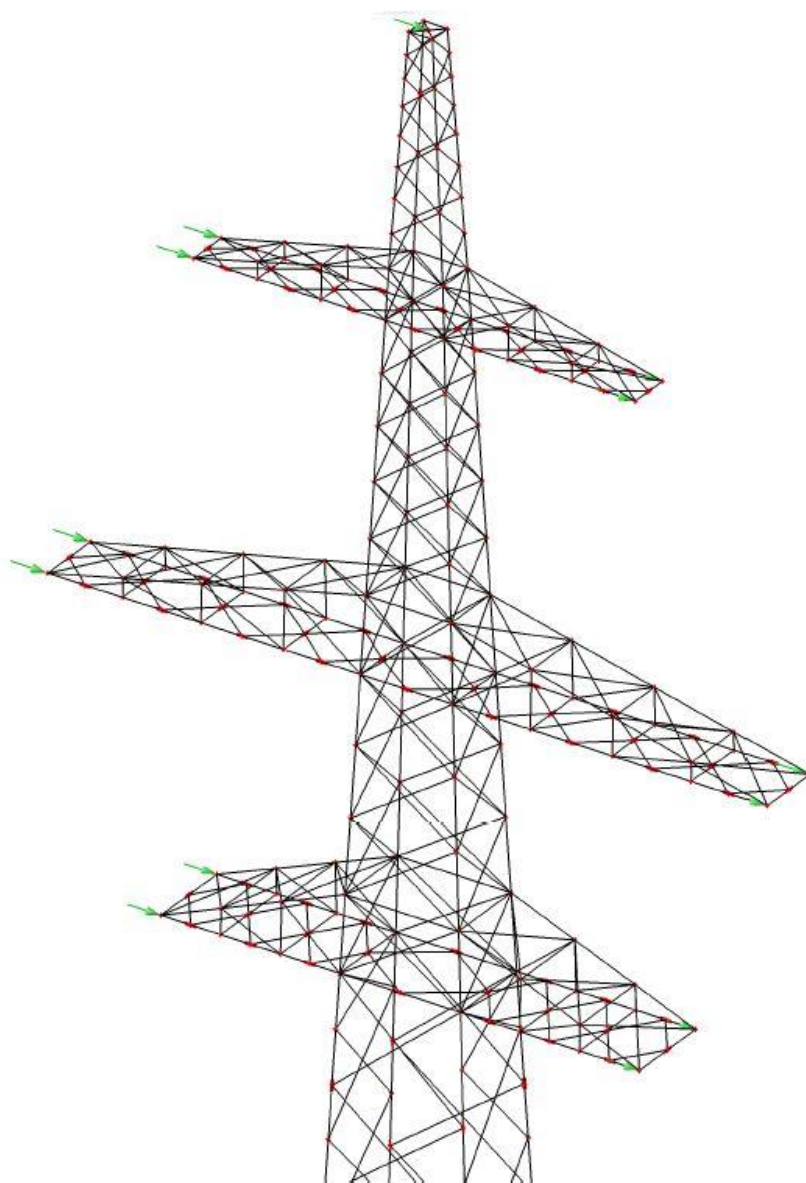
Scia 1: Horizontalne sile v prijemališčih kablov



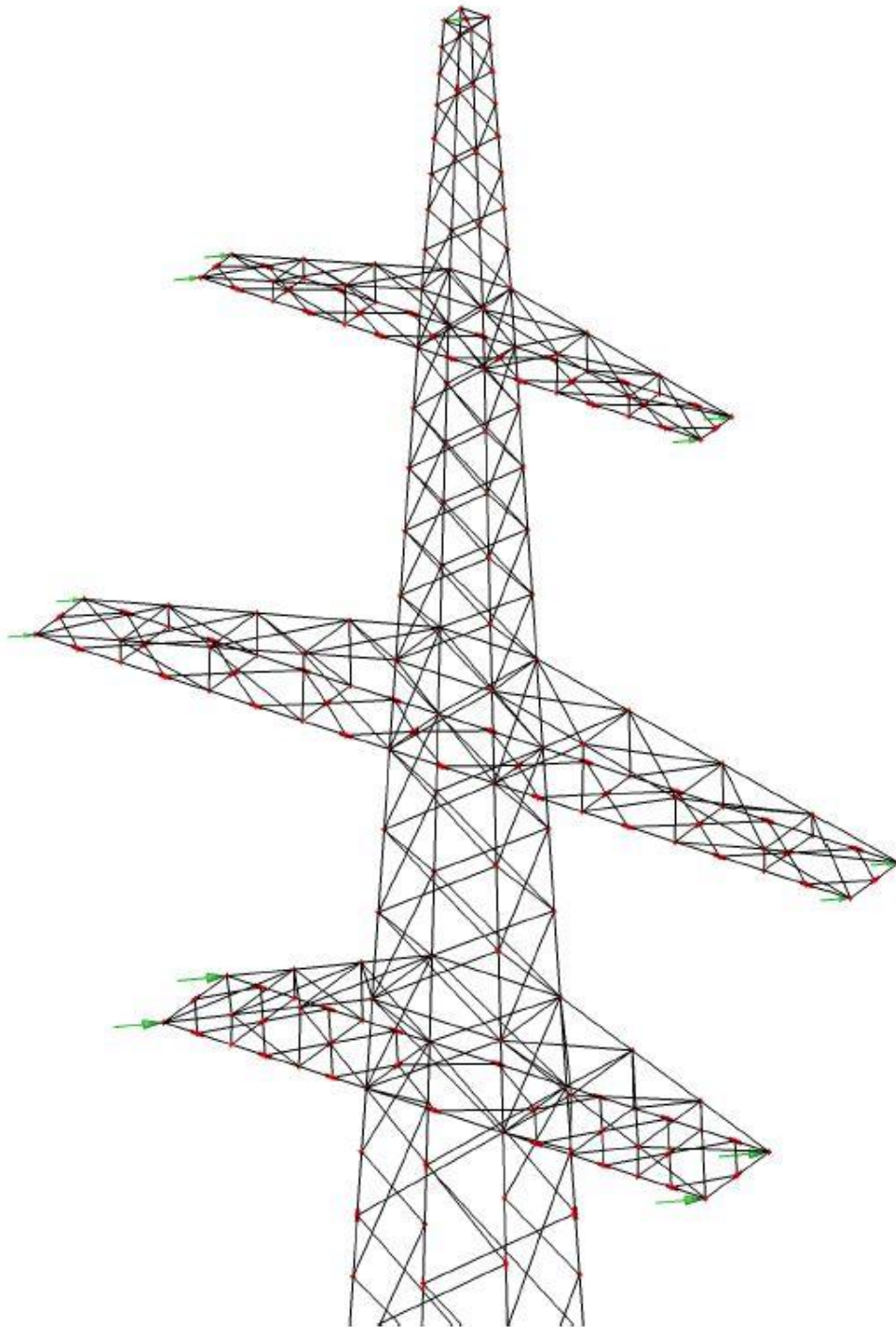
Scia 2: Vertikalne sile v prijemališčih kablov

B.2

h	sila vetra na vodnike		$q_p(h)$	$Q_{wc_v}[kN]$	
do 40 m	ϕ	45	0,6528926	2,32250226	[kN]
	ϕ	0	0,6528926	4,64500452	[kN]
nad 40 m	ϕ	45	0,7301908	2,59747124	[kN]
	ϕ	0	0,7301908	5,19494249	[kN]
zaščitna vrv					
	ϕ	45	0,7301908	2,07118622	[kN]
	ϕ	0	0,7301908	4,7775193	[kN]

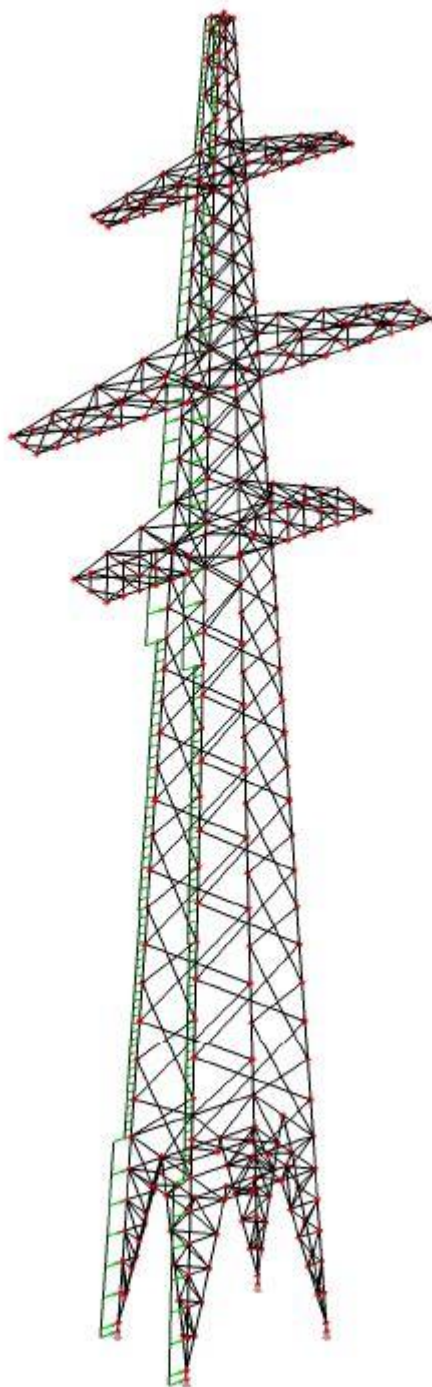


Scia 3: Sila vetra na vodnike in zaščitno vrv pod kotom 90 stopinj glede na os x, ki kaže v smeri osi konzole

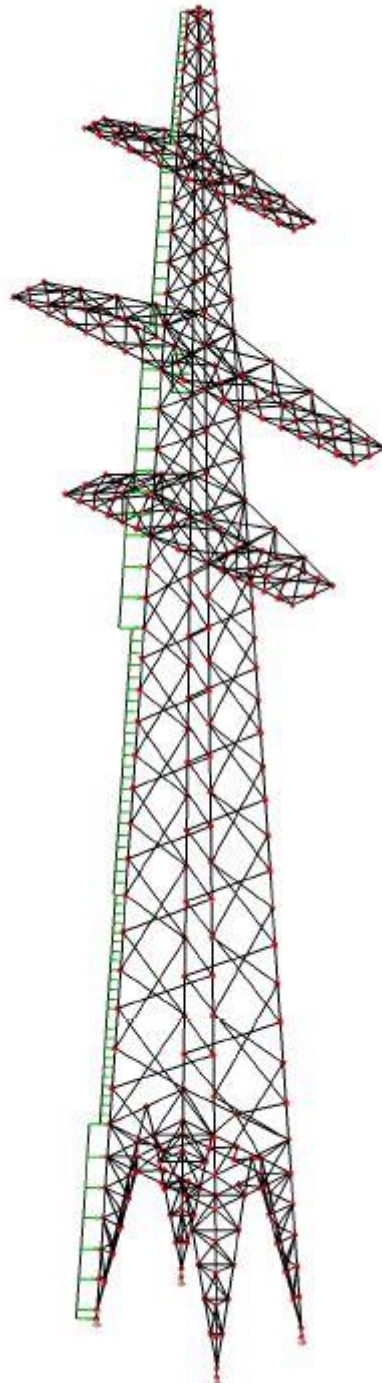


Scia 4 : Sila vetra na vodnike in zaščitno vrv pod kotom 90 stopinj glede na os vzporedno konzoli

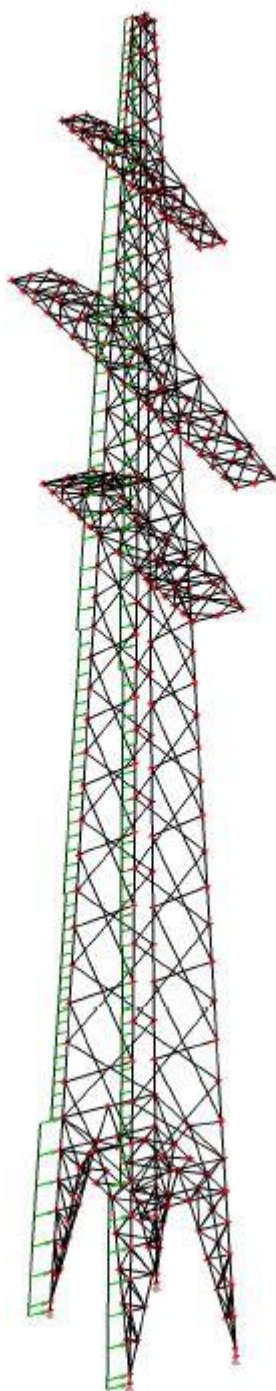
sila vetra na palične stebre															
h	segment	ϕ	$q_p(h)$	stena	Stena 1		χ_1	Ct1	stena 2	χ_2	Ct2	At1	At2	Qwt	
do 40 m	1	0	0,652893	1	b1	2,068	0,1339657	3,235313	b1	5,912	0,07866	3,5173	3,05	3,51	6,442551903
		45		vogal	b2	3,519			b2	5,038					8,701722144
		90		2	h	8,15			h	8,15					8,060318337
	2	0		1	b1	3,519	0,1001251	3,404956	b1	5,038	0,08178	3,5007	2,156	2,521	4,792940511
		45		vogal	b2	3,06			b2	4,38					6,332924703
		90		2	h	6,546			h	6,546					5,761933994
	3	0		1	b1	3,06	0,0922787	3,445585	b1	4,38	0,07282	3,5484	1,987	2,246	4,469949798
		45		vogal	b2	2,644			b2	3,79					5,8040138
		90		2	h	7,55			h	7,55					5,203406536
	4	0	1	b1	2,644	0,2305215	2,801137	b1	3,79	0,1275	3,267	4,1209	3,269	7,53647434	
		45	vogal	b2	2,111			b2	3,03					8,705600878	
		90	2	h	7,519			h	7,519					6,972860456	
nad 40 m	5	0	0,730191	1	b1	2,111	0,3128965	2,489095	b1	3,03	0,15906	3,1154	4,429	3,235	8,049772299
		45		vogal	b2	1,579			b2	2,272					9,245293306
		90		2	h	7,672			h	7,672					7,359049877
	6	0		1	b1	1,579	0,3517929	2,360433	b1	2,272	0,2319	2,7955	3,76	3,574	6,480609727
		45		vogal	b2	0,998			b2	1,444					8,265605628
		90		2	h	8,295			h	8,295					7,295399652
	7	0		1	b1	0,998	0,331024	2,427642	b1	1,444	0,23767	2,7719	1,6	1,5	2,836226791
		45		vogal	b2	0,598			b2	0,64					3,523381587
		90		2	h	6,057			h	6,057					3,036075854



Scia 5: Sila vetra na palične stebre pod kotom 0 stopinj glede na os vzporedno konzoli

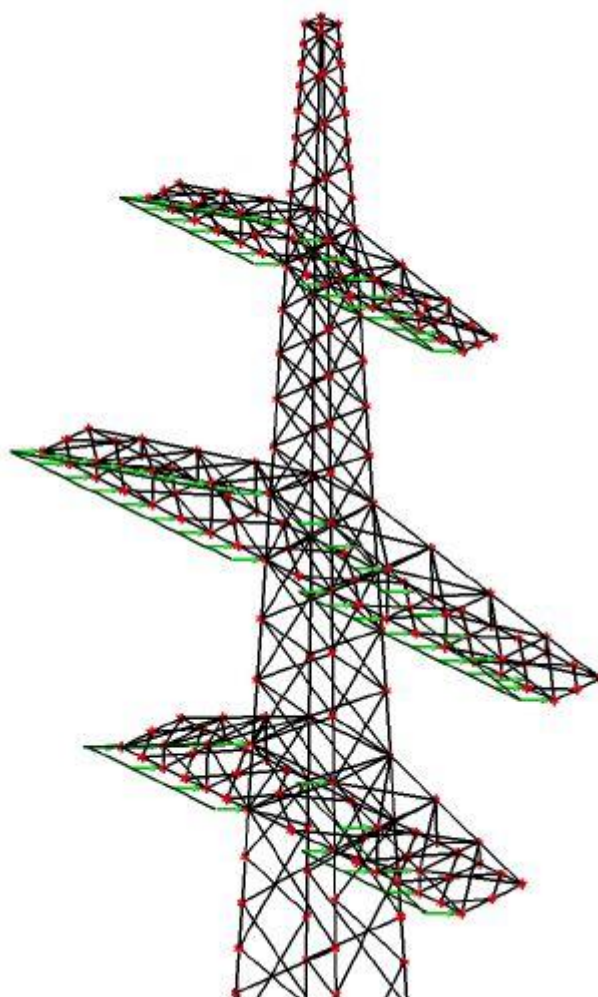


Scia 6 : Sila vetra na palične stebre pod kotom 45 stopinj glede na os vzporedno konzoli

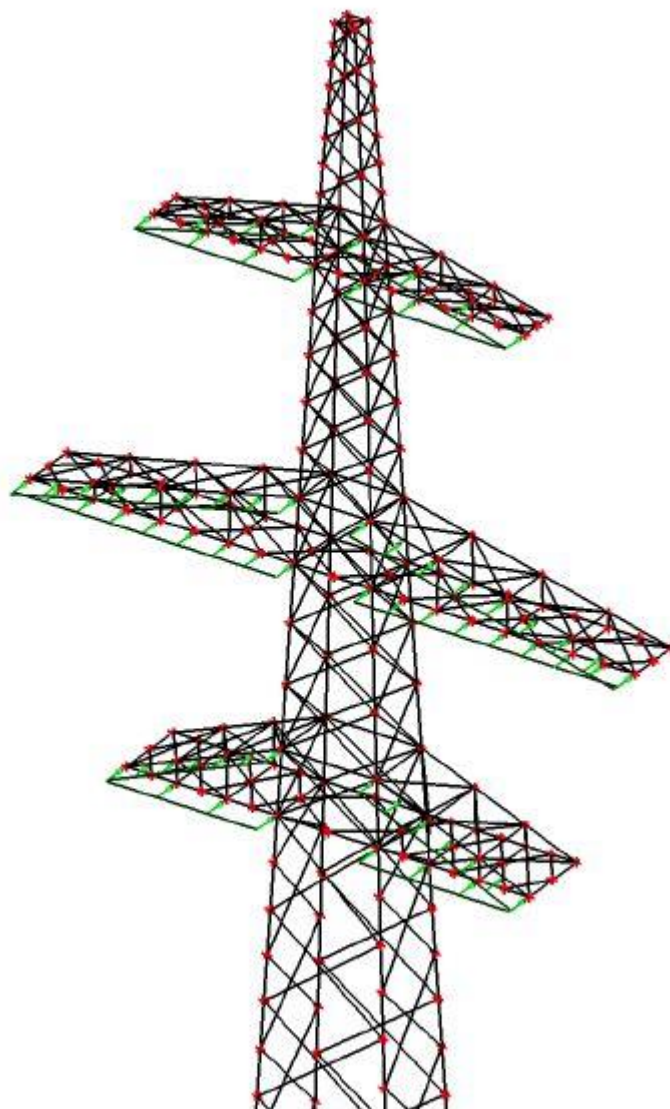


Scia 7 : Sila vetra na palične stebre pod kotom 90 stopinj glede na os vzporedno konzoli

		sila vetra na palične konzole				
konzola	ϕ	Atc2	qp(h)	Atc1	Qwtc	
1	0	2,214	0,652893	1,35	0,352562	
	45				1,628821	
	90				1,445504	
2	0	3,792	0,730191	1,795	0,524277	
	45				2,855676	
	90				2,768884	
3	0	2,156		0,730191	1,0397	0,303672
	45					1,633414
	90					1,574291

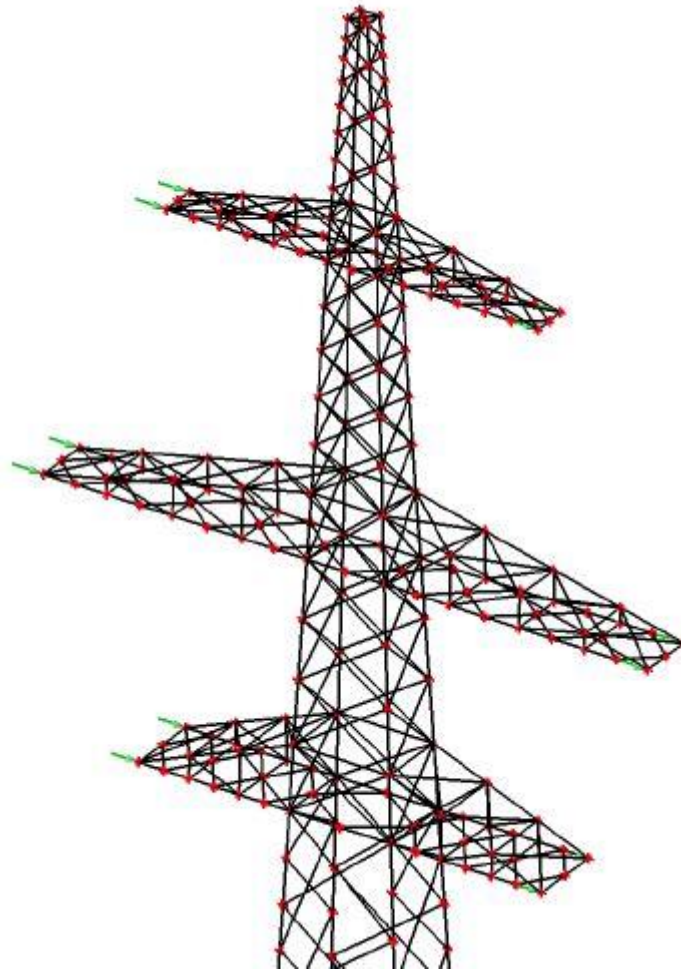


Scia 8 : Sila vetra na konzole pod kotom 45 stopinj glede na os vzporedno konzoli

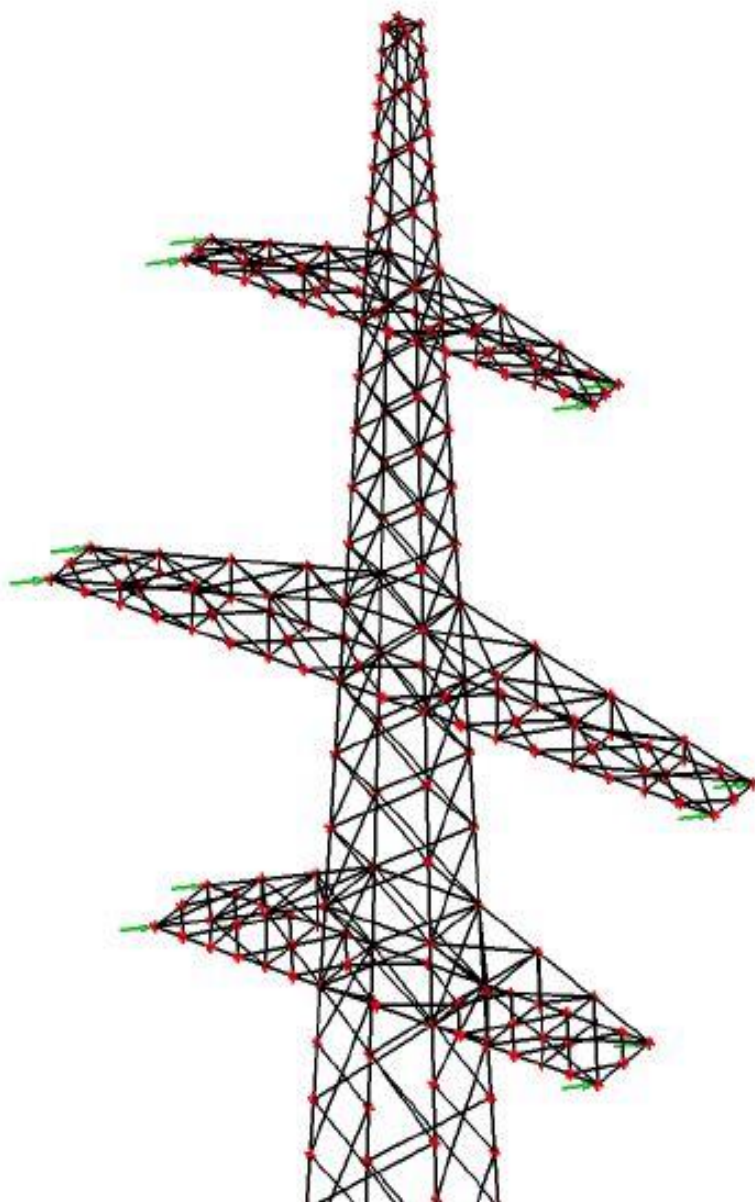


Scia 9 : Sila vetra na konzole pod kotom 90 stopinj glede na os vzporedno konzoli

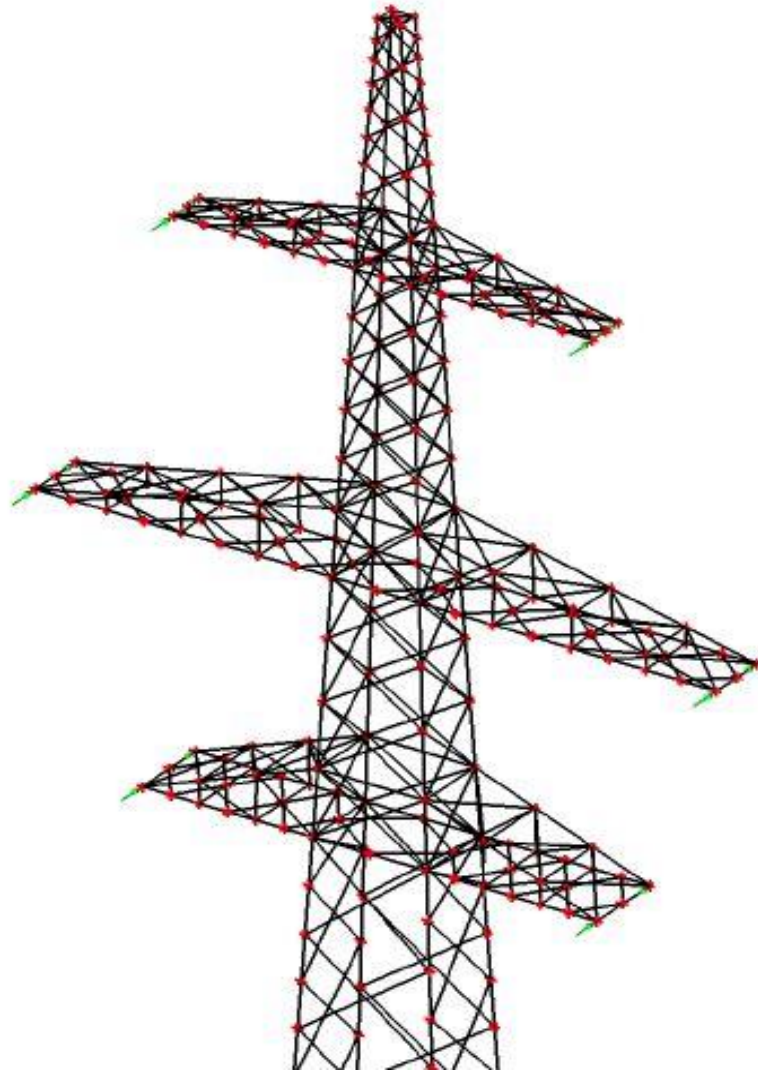
Sila vetra na izolatorske sklope					
h[m]	Vh[m/s]	qh[kN/m ²]	Iv	qp[kN/m ²]	Qwins[kN]
40	20,94141	0,26860731	0,2043798	0,65289262	0,1958678
59,724	22,65706	0,31442234	0,1889036	0,73019081	0,2190572



Scia 10 : Sila vetra na izolatorske sklope pod kotom 0 stopinj glede na os vzporedno konzoli



Scia 11 : Sila vetra na izolatorske sklope pod kotom 0 stopinj glede na os vzporedno konzoli



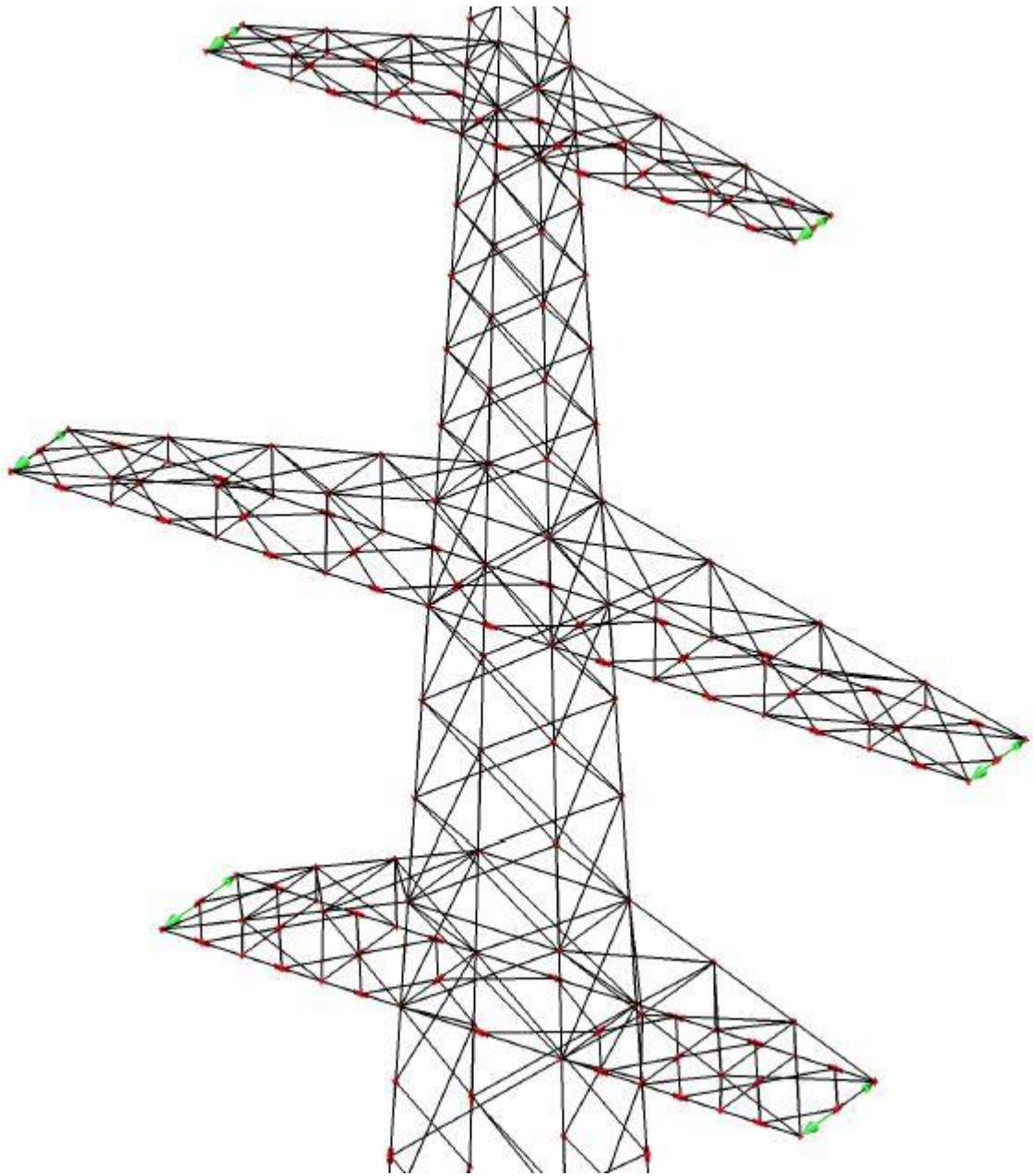
Scia 12 : Sila vetra na izolatorske sklope pod kotom 90 stopinj glede na os vzporedno konzoli

B.3

h	SILA VETRA NA ZALEDENELE VODNIKE			[kN]
do 40 m	$\phi(^{\circ})$	45	Qwlc_v	2,909180861
	$\phi(^{\circ})$	0	Qwlc_v	5,818361723
nad 40 m	$\phi(^{\circ})$	45	Qwlc_v	3,253608733
	$\phi(^{\circ})$	0	Qwlc_v	6,507217466

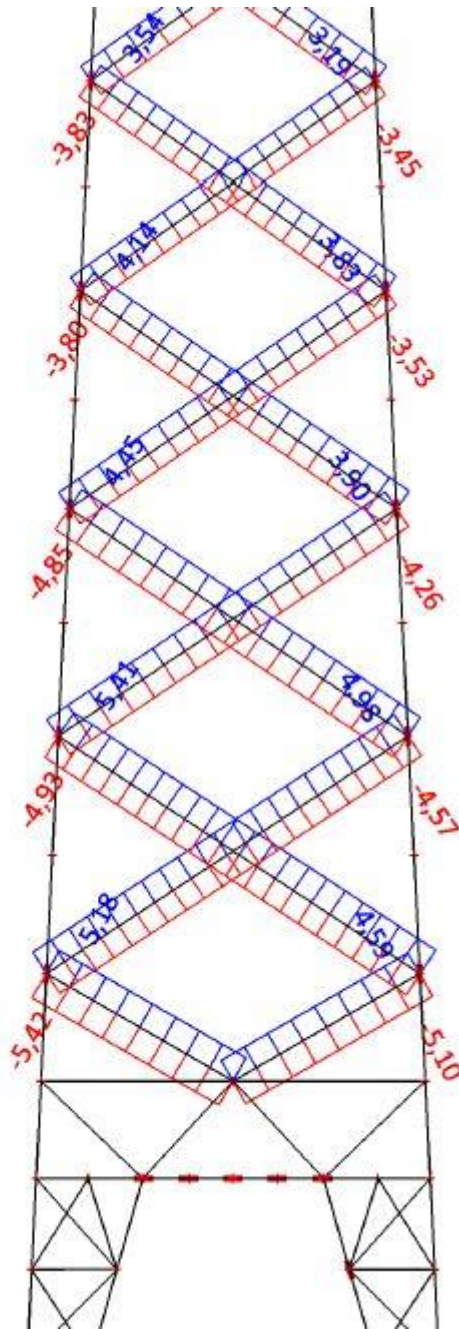
h	SILA VETRA NA ZALEDENELO ZAŠČ. VRV			[kN]
do 40 m	$\phi(^{\circ})$	45	Qwlc_v	2,397421857
	$\phi(^{\circ})$	0	Qwlc_v	4,794843713
nad 40 m	$\phi(^{\circ})$	45	Qwlc_v	2,681260829
	$\phi(^{\circ})$	0	Qwlc_v	5,362521659

C.1



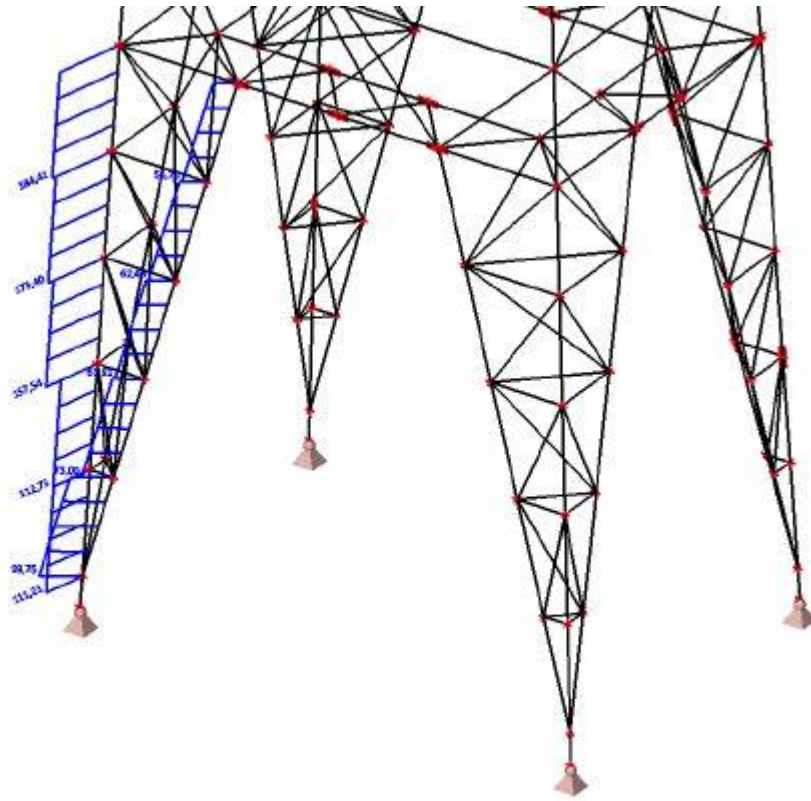
Scia 13 : Obtežni primer J

D.1



Scia 14 : Notranje sile v križnih diagonalah

D.2



Scia 15 : Notranje sile v kotnih elemntih noge daljnovodnega stebra