

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

Ta članek je avtorjeva zadnja recenzirana različica, kot je bila sprejeta po opravljeni recenziji.

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

University
of Ljubljana
Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This version of the article is author's manuscript as accepted for publishing after the review process.

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

Petrovčič, S., Guggenberger, W., Brank, B. 2009. Jekleni silosi za sipke materiale. 1. del, Vplivi pri polnjenju in praznjenju = Steel silos for particulate solid materials. Part 1, Actions at filling and discharge. *Gradbeni vestnik*, 58, 3: 70-78.

<http://www.zveza-dgits.si/jekleni-silosi-za-sipke-materiale-1-del-vplivi-pri-polnjenju-in-praznjenju>

JEKLENI SILOSI ZA SIPKE MATERIALE:

1. DEL - VPLIVI PRI POLNJENJU IN PRAZNJENJU

STEEL SILOS FOR PARTICULATE SOLID MATERIALS:

PART 1 - ACTIONS AT FILLING AND DISCHARGE

Simon Petrovčič, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Zoisova 12, 1000 Ljubljana

simon.petrovcic@fa.uni-lj.si

izr. prof. dr. Werner Guggenberger, Dipl.-Ing. Dr.techn.

TU Graz, Institut für Stahlbau und Flächentragwerke,

Lessingstraße 25/III, 8010 Graz, Avstrija

werner.guggenberger@tugraz.at

izr. prof. dr. Boštjan Brank, univ. dipl. inž. grad.

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana

bbrank@ikpir.fgg.uni-lj.si

Povzetek

V članku obravnavamo osno simetrične jeklene silose, ki so namenjeni shranjevanju sipkih materialov. Pokažemo, kako se po Evrokodih določi vplive (pritiske) na stene silosa med polnjenjem in praznjenjem. Postopke, ki jih za določitev pritiskov predpisuje standard EN 1991-4, podamo v nekaj korakih in diagramih potekov. V spremljajočem članku (2. del) pokažemo, kako se določi membranske sile v silosu in podamo primer izračuna pritiskov in membranskih sil .

Summary

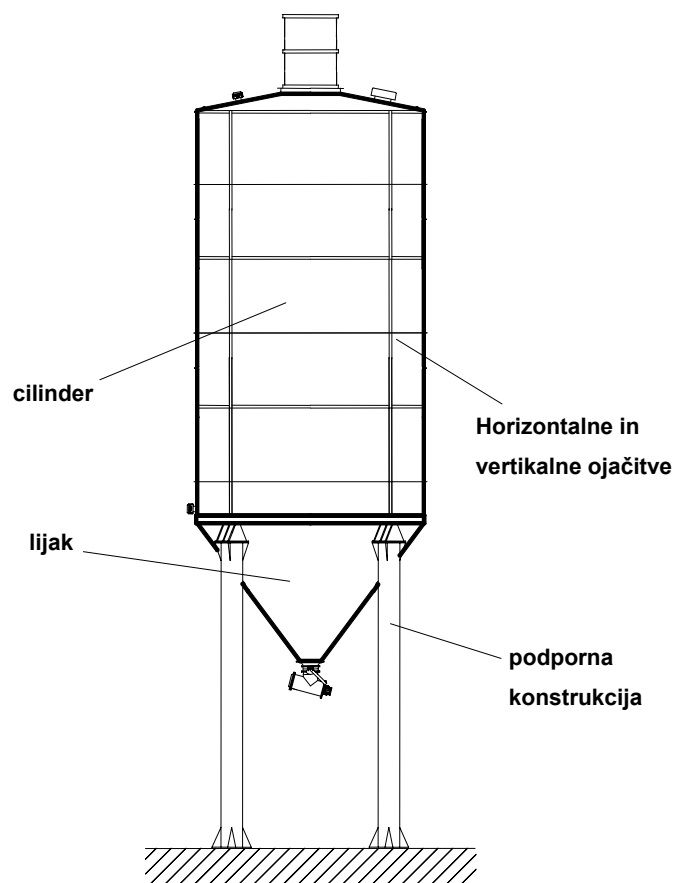
The paper addresses axisymmetric steel silo structures used for storage of particulate solid materials. It is shown how to determine actions (pressure loads) on silo walls at filling and discharge according to EN Eurocodes. The procedures given in EN 1991-4 are presented in several steps and flowcharts. Determination of membrane forces in a silo structure and an illustrative example is given in an accompanying paper (part 2).

1 Uvod

Silosi so posebne konstrukcije, ki se uporabljajo za shrambo organskih in anorganskih sipkih materialov predvsem v industriji in kmetijstvu. So raznoterih oblik in velikosti (od nekaj ton do prek 10 000 ton). Za njihovo izdelavo se uporabljajo različni materiali (tako jeklo in armirani beton, kot tudi poliesterski laminati in les). Manjše silose ponavadi obravnavamo kot izdelke, večje pa kot zahtevne vitke konstrukcije, ki jih je treba pazljivo projektirati, predvsem zaradi njihove velike občutljivosti na uklon [Guggenberger, 2006].

Določitev vplivov (obtežb) na jekleno konstrukcijo silosa je razmeroma zahteven proces. Sipki materiali namreč lahko povzročajo nenavadne pritiske na stene silosa med procesoma

polnjenja in praznjenja, zato jih je treba dovolj natančno oceniti, saj so jekleni silosi konstrukcije, ki se rade uklonijo, če niso skrbno projektirane. Poleg pritiskov zaradi polnjenja in praznjenja, je treba dovolj natančno oceniti tudi vplive vetra in potresa. V sklopu Evrokodov za konstrukcije se dva standarda nanašata izključno na določitev obtežb na silose. To sta EN 1991-4 [CEN, 2006a] in EN 1998-4 [CEN, 2006b]. Prvi se ukvarja z določitvijo pritiskov na stene silosa, ki nastanejo med procesoma polnjenja in praznjenja z organskimi in anorganskimi sipkimi materiali, drugi pa je namenjen določitvi potresne obtežbe na silosno konstrukcijo. S tema dvema standardoma je mogoče ob uporabi nekaterih ostalih Evrokod standardov, ki se ukvarjajo z določitvijo vplivov na konstrukcije, npr. [CEN, 2000], [CEN, 2005] in [CEN, 2004], določiti bistvene projektne obtežbe na konstrukcijo silosa.

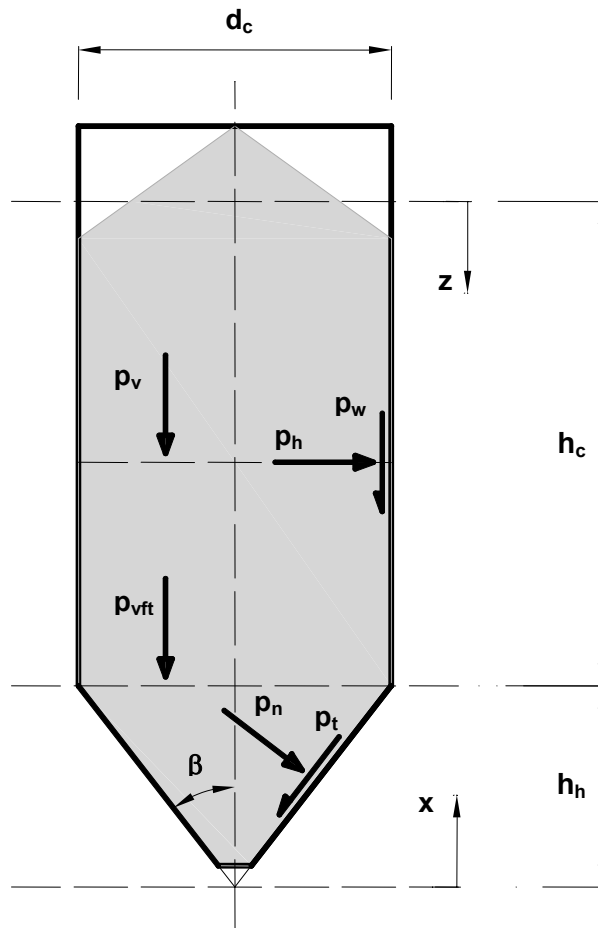


Slika 1: Konstrukcijski elementi tipičnega osno simetričnega cilindričnega silosa

V tem članku se omejimo na določitev osnovne obtežbe – t.j. na določitev pritiskov na stene silosa, ki nastanejo med procesoma polnjenja in praznjenja s sipkimi materiali. Z vplivoma vetra in potresa se ne ukvarjamo; za obravnavo teh dveh vplivov glej [Petrovčič, 2008]. Nadalje se omejimo na zelo pogoste silosne konstrukcije, t.j. na osno simetrične jeklene cilindrične silose (slika 1), ki so sestavljeni iz cilindričnega zgornjega dela - cilindra - in stožčastega spodnjega dela - lijaka. Osnovni namen članka je, da v obliki kratkega priročnika podamo postopek za določitev vplivov na silos zaradi polnjenja in praznjenja, ki ga predpisuje standard EN 1991-4 [CEN, 2006a]. Postopek prikažemo kot proces sedmih zaporednih korakov. Zaradi boljše preglednosti in razumljivosti podajamo za ključne korake diagrame potekov. Za določitev pritiskov na jekleno osno simetrični silos zaradi polnjenja in praznjenja po EN 1991-4 [CEN, 2006a] torej lahko uporabimo 2. in 3. poglavje članka, v standard EN 1991-4 [CEN, 2006a] pa pogledamo le toliko, da poiščemo vrednosti parametrov, ki določajo lastnosti shranjenega materiala (dodatek E) ter da določimo vrednost koeficienta trenja med materialom in steno silosa (dodatka D in E).

2 Osno simetrična obtežba zaradi polnjenja in praznjenja

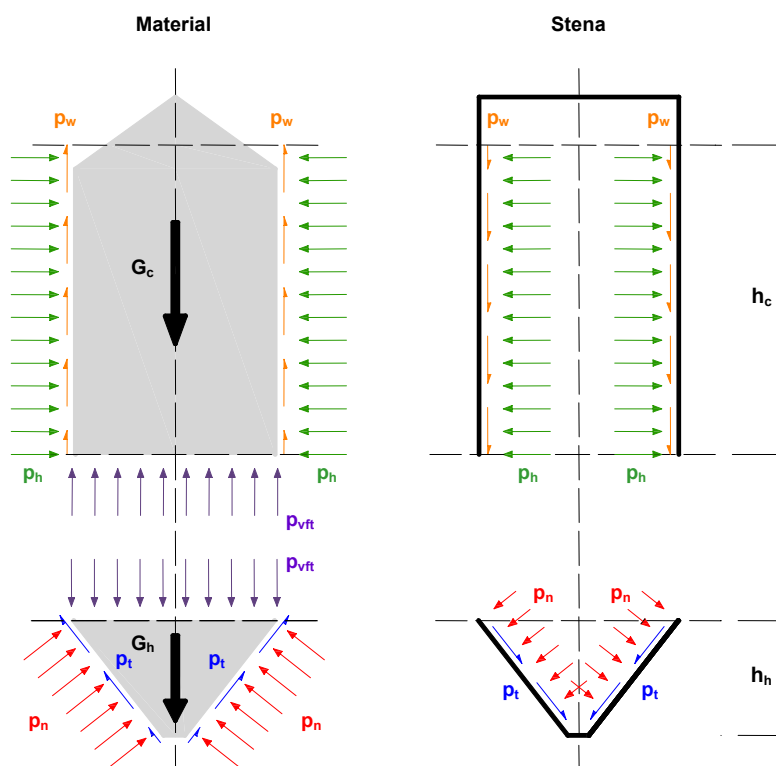
Pritiski na stene silosa zaradi polnjenja in praznjenja niso popolnoma osno simetrični, ker med obema procesoma nastanejo različne naključne nesimetrije. Vendar pa je nesimetričnost pogosto zanemarljiva, zato EN 1991-4 [CEN, 2006a] dovoljuje, da se (v večini primerov) pritiske obravnava kot osno simetrične. V tem poglavju se bomo ukvarjali z osno simetričnimi pritiski. To, kdaj in kako je potrebno določiti nesimetrične pritiske, pa bo povedano v 3. poglavju.



Slika 2: Oznake za osno simetrične pritiske v silosu

Osno simetrično obtežbo zaradi polnjenja in praznjenja sipkega materiala predstavljajo (slika 2): (a) pritisk p_h na steno cilindra, (b) pritisk p_n na steno lijaka, (c) trenje p_w ob steni cilindra in (č) trenje p_t ob steni lijaka. V nadaljevanju članka ne razlikujemo med pritiskom in trenjem - oboje imenujemo pritisk.

Navpični pritisk v shranjenem materialu označimo s p_v . Ko gre za pritisk pri polnjenju, mu dodamo indeks f , torej p_{vf} . Vrednost tega pritiska na prehodu iz cilindra v lijak označimo s p_{vft} . Z G_c in G_h označimo težo shranjenega materiala v cilindru, oziroma lijaku. Smeri delovanja omenjenih pritiskov na material in na steno silosa so prikazane na sliki 3.



Slika 3: Smeri delovanja osno simetričnih pritiskov po shranjenem materialu in po steni silosa

Postopek za določitev pritiskov p_h , p_n , p_w in p_t podajamo v sedmih korakih, ki so navedeni v preglednici 1. Posamezne korake razložimo v nadaljevanju poglavja.

Preglednica 1: Določitev osno simetrične obtežbe zaradi polnjenja in praznjenja silosa po EN 1991-4 [CEN, 2006a]

Korak	Opis koraka	Mesto v standardu EN 1991-4
1	Shranjeni material	Preglednica E.1
2	Geometrija silosa	Slika 1.1a
3	Tip silosa in lijaka	Poglavje 5.1(2)P in 6.1.1(2)P
4	Razred obremenitve	Preglednica 2.1
5	Kombinacije materialnih parametrov	Preglednica 3.1
6	Pritiski na cilinder	Poglavje 5
7	Pritiski na lijak	Poglavje 6

1. korak: Shranjeni material

Shranjeni material se opiše z nekaj parametri, ki so zbrani v preglednici 2. Indeksi min , max in m označujejo njihove minimalne, maksimalne in srednje vrednosti (v nadaljevanju uporabljamo tudi oznake MIN, MAX in MEAN). Številčne vrednosti omenjenih parametrov za mnoge tipične sipke materiale so podane v prilogi E standarda EN 1991-4 [CEN, 2006a].

Preglednica 2: Parametri, ki opisujejo shranjeni material

Materialni parameter	Opis
γ_{min}	specifična teža (minimalna in maksimalna)
γ_{max}	
ϕ_r	kot deponiranja materiala (slika 2)
$\phi_{i,min} = \phi_{im} / a_\phi$	kot notranjega trenja oz. strižni kot materiala (minimalni, srednji in maksimalni)
ϕ_{im}	
$\phi_{i,max} = \phi_{im} \cdot a_\phi$	
$K_{min} = K_m / a_K$	koeficient bočnega pritiska (minimalni, srednji in maksimalni)
K_m	
$K_{max} = K_m \cdot a_K$	
$\mu_{min} = \mu_m / a_\mu$	koeficient trenja med steno in materialom (minimalni, srednji in maksimalni)
μ_m	
$\mu_{max} = \mu_m \cdot a_\mu$	
C_{op}	referenčni faktor za nesimetrično obtežbo

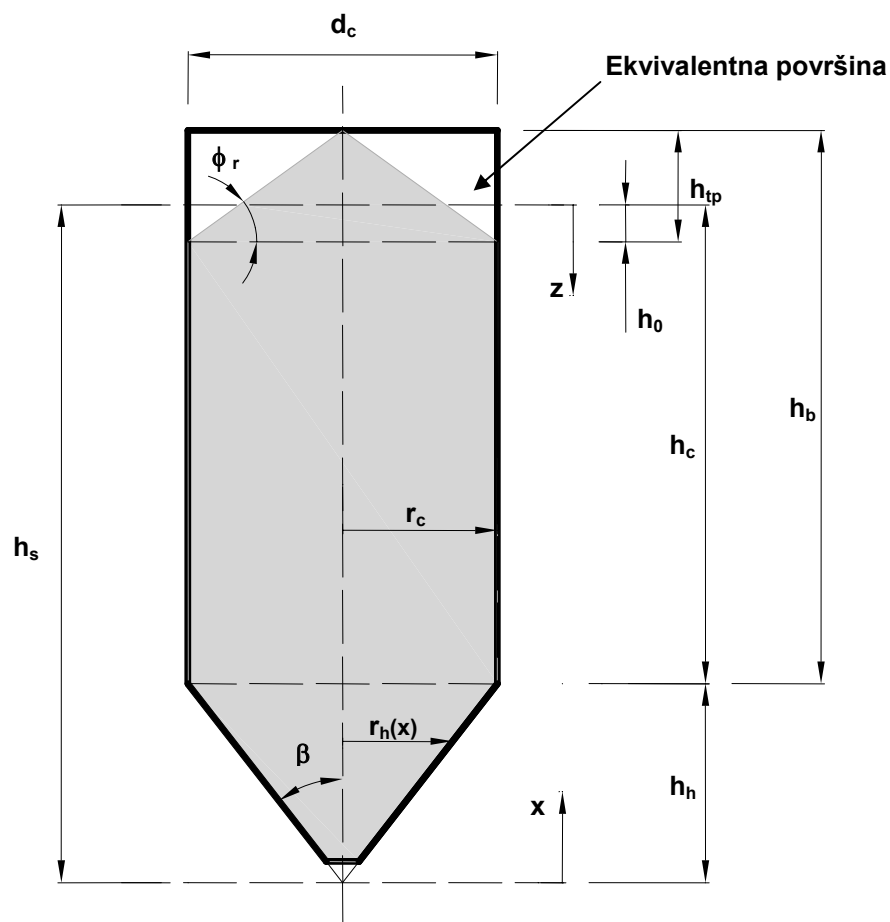
Izmed parametrov v preglednici 2 je nekoliko zahtevneje določiti srednje vrednosti koeficienta trenja med steno in materialom (μ_m). Ta koeficient je odvisen od kategorije stene, ki jo določata tip jekla in njegova površinska obdelava (preglednica 3). Če je kategorija stene enaka D4, potem se vrednost koeficienta μ_m določi po prilogi D v standardu EN 1991-4 [CEN, 2006a], sicer pa po prilogi E istega standarda.

Preglednica 3: Kategorija stene cilindra za določitev μ_m

Kategorija	Trenje	Material
D1	Nizko	Hladno oblikovano nerjaveče jeklo, polirano nerjaveče jeklo, površina zaščitena s premazom.
D2	Srednje	Gladko jeklo z visoko vsebnostjo ogljika, nepolirano nerjaveče jeklo, galvanizirano jeklo.
D3	Visoko	Postarano (korodirano) jeklo, jeklo odporno na abrazijo.
D4	Neenakomerno	Vodoravno nagubane stene, profilirana pločevina, nestandardne oblike sten.

2. korak: Geometrija silosa

Geometrijski parametri osno simetričnega jeklenega silosa, ki jih potrebujemo pri določitvi obtežbe, so razvidni iz slike 4 in preglednice 4.



Slika 4: Geometrijski parametri osno simetričnega silosa

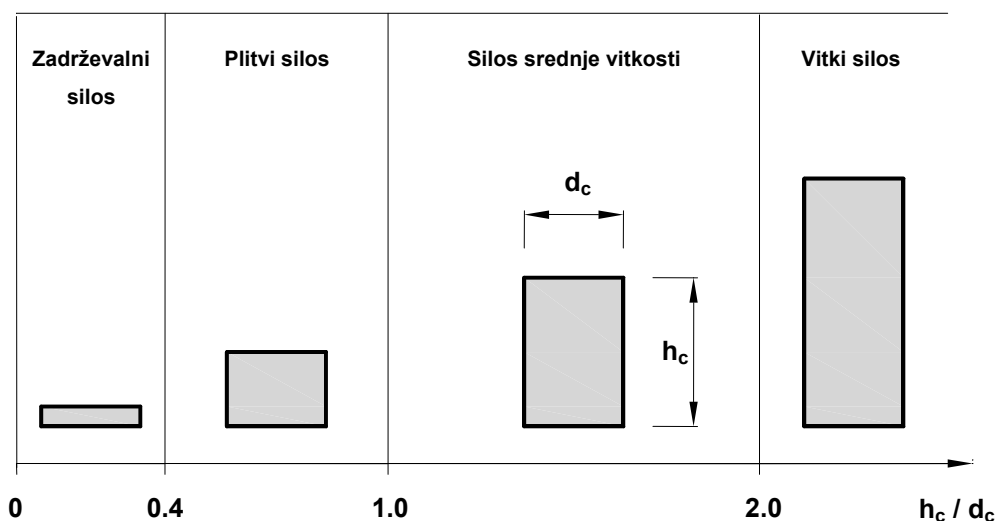
Preglednica 4: Geometrijski parametri osno simetričnega silosa

Neodvisni parametri	
Višina cilindra	h_b
Notranji polmer cilindra	r_c
Naklon lijaka glede na simetrijsko os	β
Odvisni parametri	
Notranji polmer lijaka (v odvisnosti od x)	$r_h(x) = x \cdot \tan \beta$
Višina lijaka	$h_h = \frac{r_c}{\tan \beta}$
Višina zgornjega kupa	$h_{tp} = r_c \cdot \tan \phi_r$
Globina pod ekvivalentno površino	$h_0 = \frac{1}{3} \cdot h_{tp}$
Nadomestna višina cilindra	$h_c = h_b - h_{tp} + h_0$

Nadomestna višina shranjenega materiala	$h_s = h_h + h_c < 100m$
Notranji premer cilindra	$d_c = 2 \cdot r_c < 60m$
Dodatna geometrijska omejitev	$h_s / d_c < 10$
Notranji obseg cilindra	$U = \pi \cdot d_c$
Notranja površina prečnega prereza cilindra	$A = \pi \cdot \frac{d_c^2}{4}$
Volumen shranjenega materiala	$V_m = A \cdot \left(h_c - h_0 + \frac{1}{3}(h_h + h_{tp}) \right)$
Teža shranjenega materiala	$G_m = \gamma_{max} \cdot V_m$

3. korak: Tip cilindra in lijaka

Oсно simetrični jekleni silos je sestavljen iz cilindra in lijaka. Cilindri in lijaki se delijo na več tipov. Tip cilindra določa razmerje h_c/d_c (slika 5). Velja, da je tip silosa enak tipu cilindra. Lijaki se delijo na tri tipe, glede na kot β , minimalni koeficient bočnega pritiska K_{min} in minimalni koeficient trenja μ_{min} , (preglednica 5).

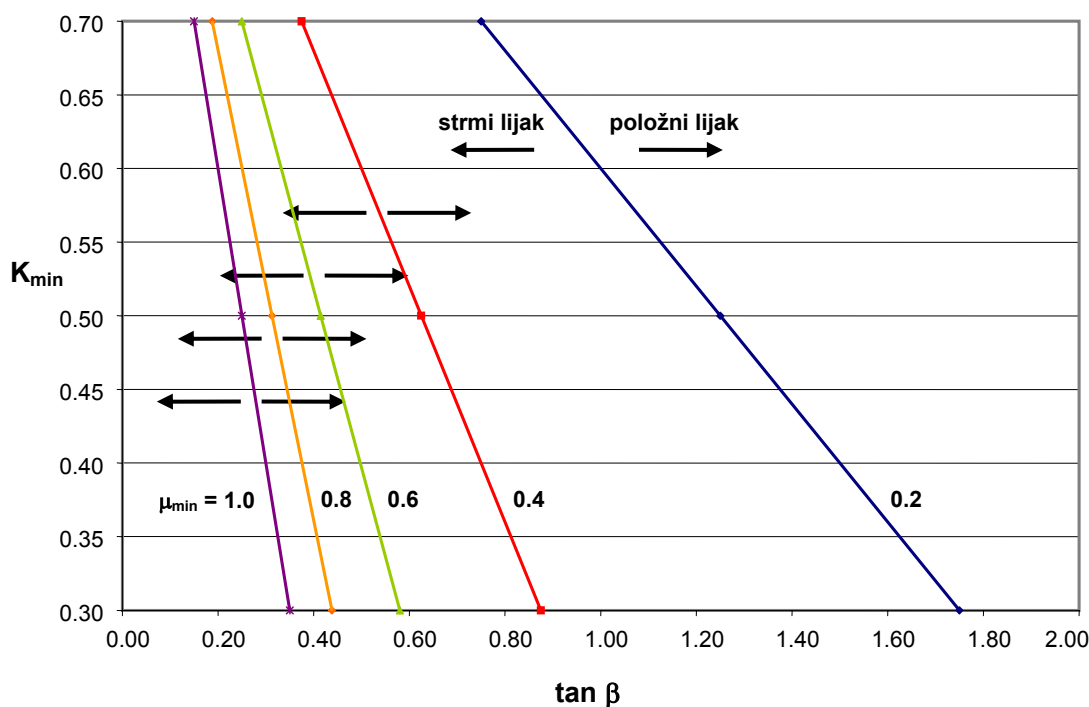


Slika 5: Tipi cilindrov oziroma silosov

Preglednica 5: Tipi lijakov

Tip lijaka	Pogoj	
Strmi lijak	$K_{\min} <$	$1 - 2\mu_{\min} \tan \beta$ (slika 6)
Položni lijak	$K_{\min} \geq$	
Z ravnim dnom	$\beta \geq 85^\circ$	

Tip lijaka (strmi ali položni) lahko določimo tudi s pomočjo slike 6. Glede na minimalni koeficient trenja med steno in materialom (μ_{\min}) izberemo ustrezno premico. Če leži točka, ki jo določata K_{\min} in $\tan \beta$, levo od izbrane premice, je lijak strmi, v nasprotnem primeru je položni.



Slika 6: Tipi lijakov

Opomba: Izrazi na sliki 5, sliki 6 in preglednici 5 so prevodi naslednjih angleških izrazov: zadrževalni silos – »retaining silo«, plitvi silos – »squat silo«, silos srednje vitkosti – »intermediate slenderness silo«, vitki silos – »slender silo«, strmi lijak – »steep hopper«, položni lijak – »shallow hopper«, lijak z ravnim dnom – »flat bottom«.

4. korak: Razred obremenitve

Glede na svojo kapaciteto (maso shranjenega materiala $m_{solid} = G_m / g \cong 0.1 \cdot G_m$, kjer je G_m definiran v preglednici 4) se silosi delijo v tri razrede obremenitve. Pri silosih z majhno kapaciteto veljajo nekatere poenostavitve, ki so razvidne v nadaljevanju članka. Razred obremenitve AAC (ang. »action assessment class«) se določi po preglednici 6.

Preglednica 6: Definicija razredov obremenitve pri silosih

Razred obremenitve (AAC)	m_{solid}
1	pod 100 ton
2	med 100 tonami in 10 000 tonami
3	več kot 10 000 ton

5. korak: Kombinacije materialnih parametrov

Pritiski na stene silosa so odvisni od vrste shranjenega materiala, ki ga opisujejo parametri iz preglednice 2. Maksimalne vrednosti pritiskov dobimo s kombiniranjem minimalnih (MIN), maksimalnih (MAX) in srednjih (MEAN) vrednosti parametrov μ , K in ϕ , shranjenega materiala. Za specifično težo vedno vzamemo γ_{max} .

Za izračun maksimalnih pritiskov na steno cilindra (p_h in p_w) se upošteva kombinacije iz preglednice 7. Za izračun maksimalnih pritiskov (p_n in p_t) na stene lijaka se upošteva kombinaciji iz preglednice 8.

Preglednica 7: Kombinacije materialnih parametrov za določitev maksimalnih pritiskov na steno cilindra

Kombinacija	AAC	Namen	μ	K	ϕ_i
1	1	maksimalni pritisk (p_h) in maksimalno trenje (p_w)	MEAN	MEAN	MEAN
2	2 in 3	maksimalni pritisk (p_h)	MIN	MAX	MIN
3		maksimalno trenje (p_w)	MAX	MAX	MIN

Preglednica 8: Kombinacije materialnih parametrov za določitev maksimalnih pritiskov na steno lijaka

Kombinacija	AAC	Velja za	Namen	μ	K	ϕ_i
4	1, 2 in 3	vertikalni pritisk v cilindru	maksimalni vertikalni pritisk na stiku cilindra in lijaka (p_v)	MIN	MIN	MAX
		steno lijaka	maksimalni pritisk (p_n) in maksimalno trenje (p_t) ob polnjenju	MIN	MIN	MIN
5		vertikalni pritisk v cilindru	maksimalni vertikalni pritisk na stiku cilindra in lijaka (p_v)	MIN	MIN	MAX
		steno lijaka	maksimalni pritisk (p_n) in maksimalno trenje (p_t) ob praznjenju	MIN	MAX	MAX

6. korak: Pritiski na cilinder

Pritiske na steno cilindra se določi po diagramu 1 za vsako od kombinacij materialnih parametrov iz preglednice 7. Iz preglednice 7 je razvidno, da je za silose v razredu obremenitve 1 potrebno opraviti izračun samo za kombinacijo 1, za silose v razredu obremenitve 2 ali 3 pa je potrebno opraviti dva izračuna: za kombinacijo 2 (za določitev

maksimalnega normalnega pritiska p_h) in za kombinacijo 3 (za določitev maksimalnega trenja p_w).

V diagramih 1.1, 1.2 in 1.3 je pritiskom pri polnjenju dodan indeks f , pritiskom pri praznjenju pa indeks e . Oznake na desni strani enačb so pojasnjene v preglednicah 2 in 4 in sliki 4.

Iz diagramov 1.1, 1.2 in 1.3 je očitno, da so pritiski pri praznjenju vedno večji ali enaki pritiskom pri polnjenju. Prav tako je očitno, da je oblika pritiskov po višini cilindra enaka pri praznjenju in pri polnjenju.

Diagram 1: Določitev pritiskov na steno cilindra

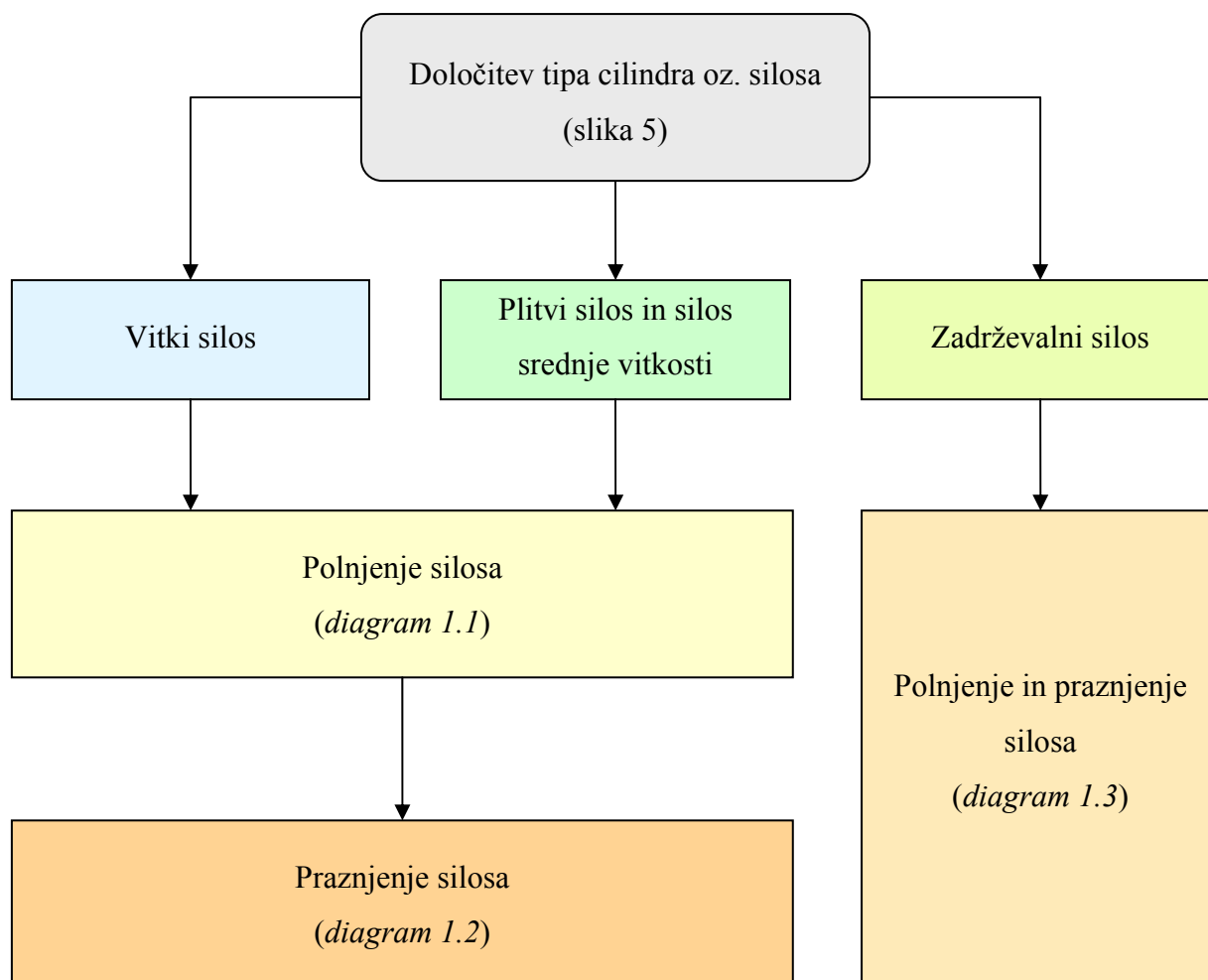


Diagram 1.1

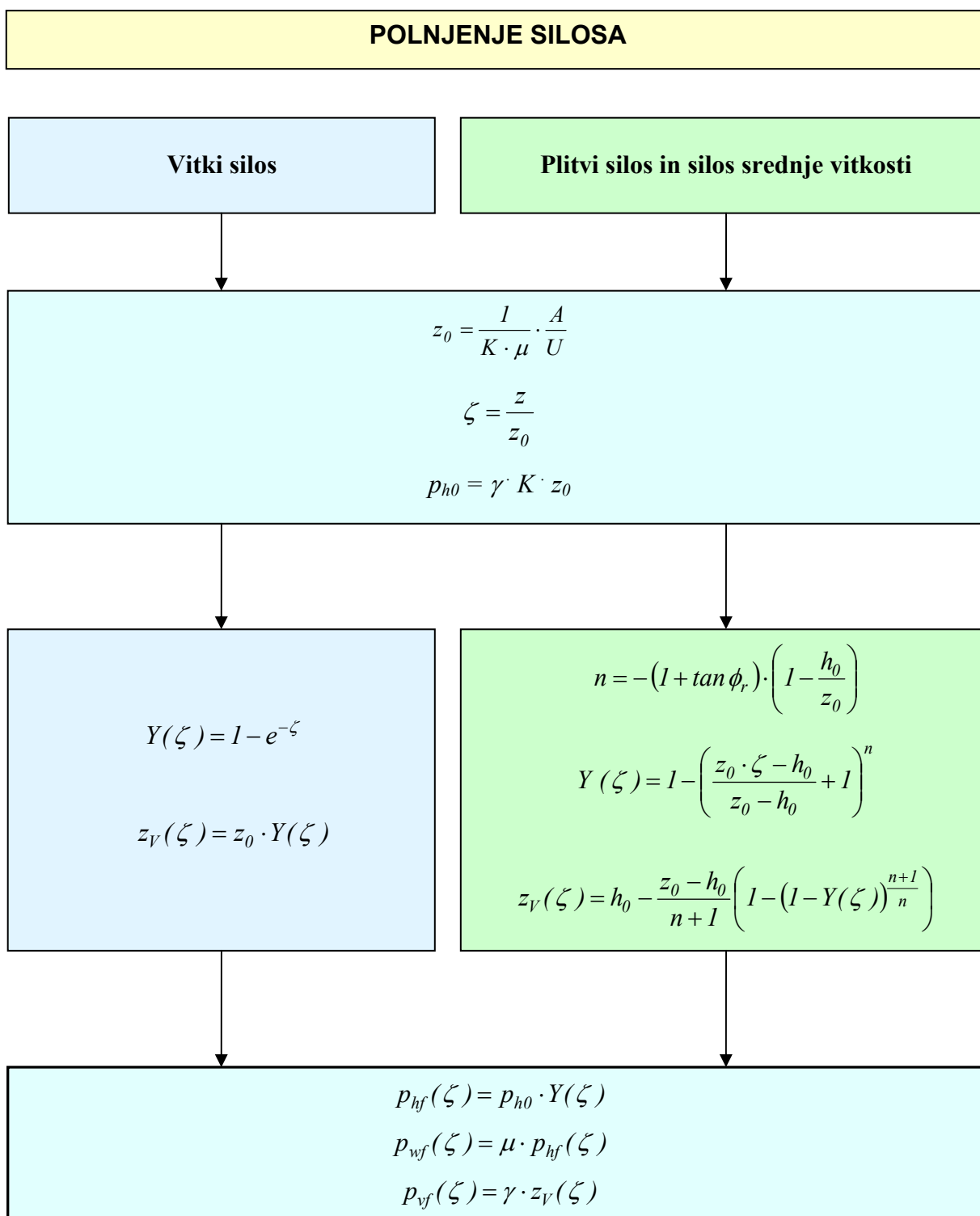


Diagram 1.2

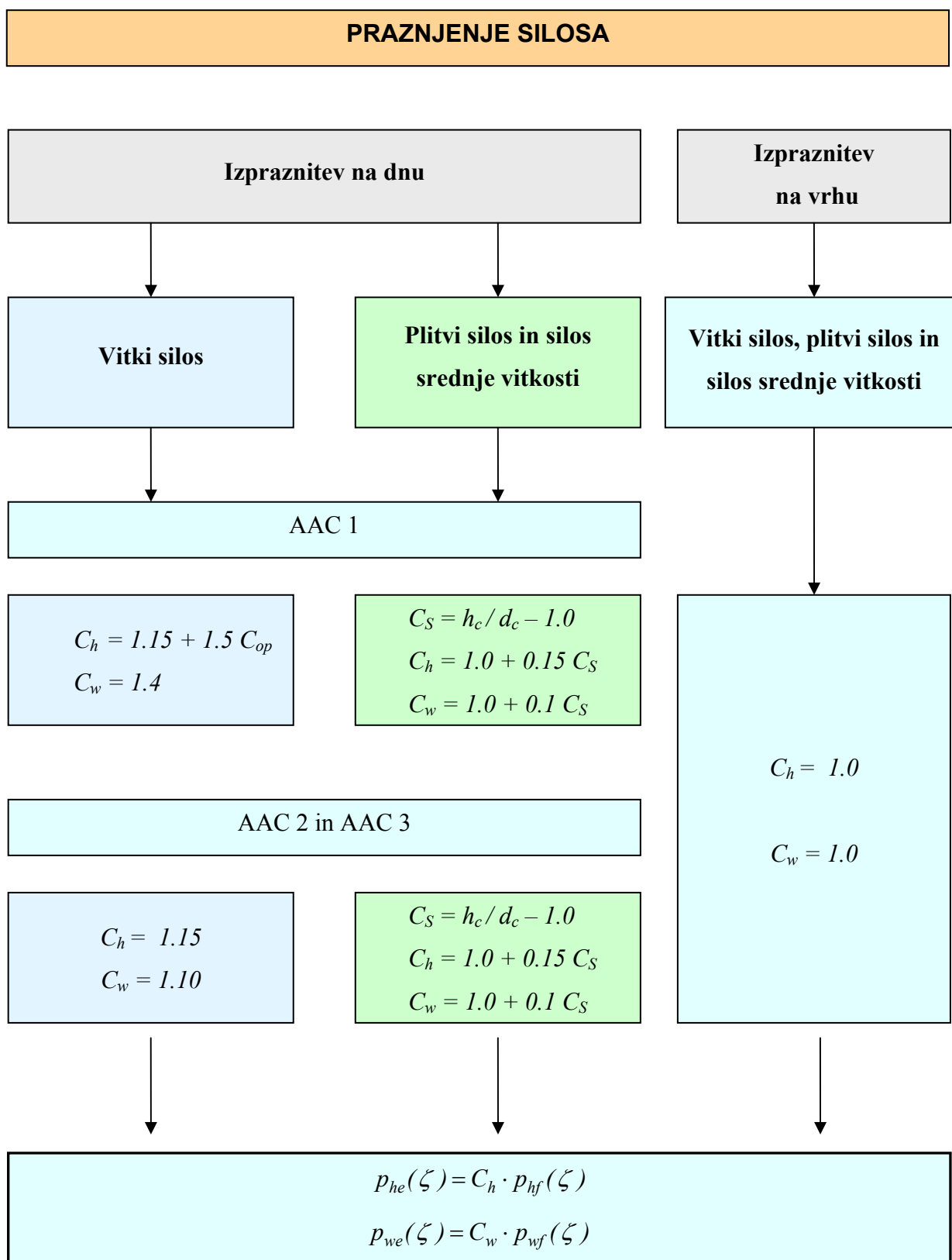
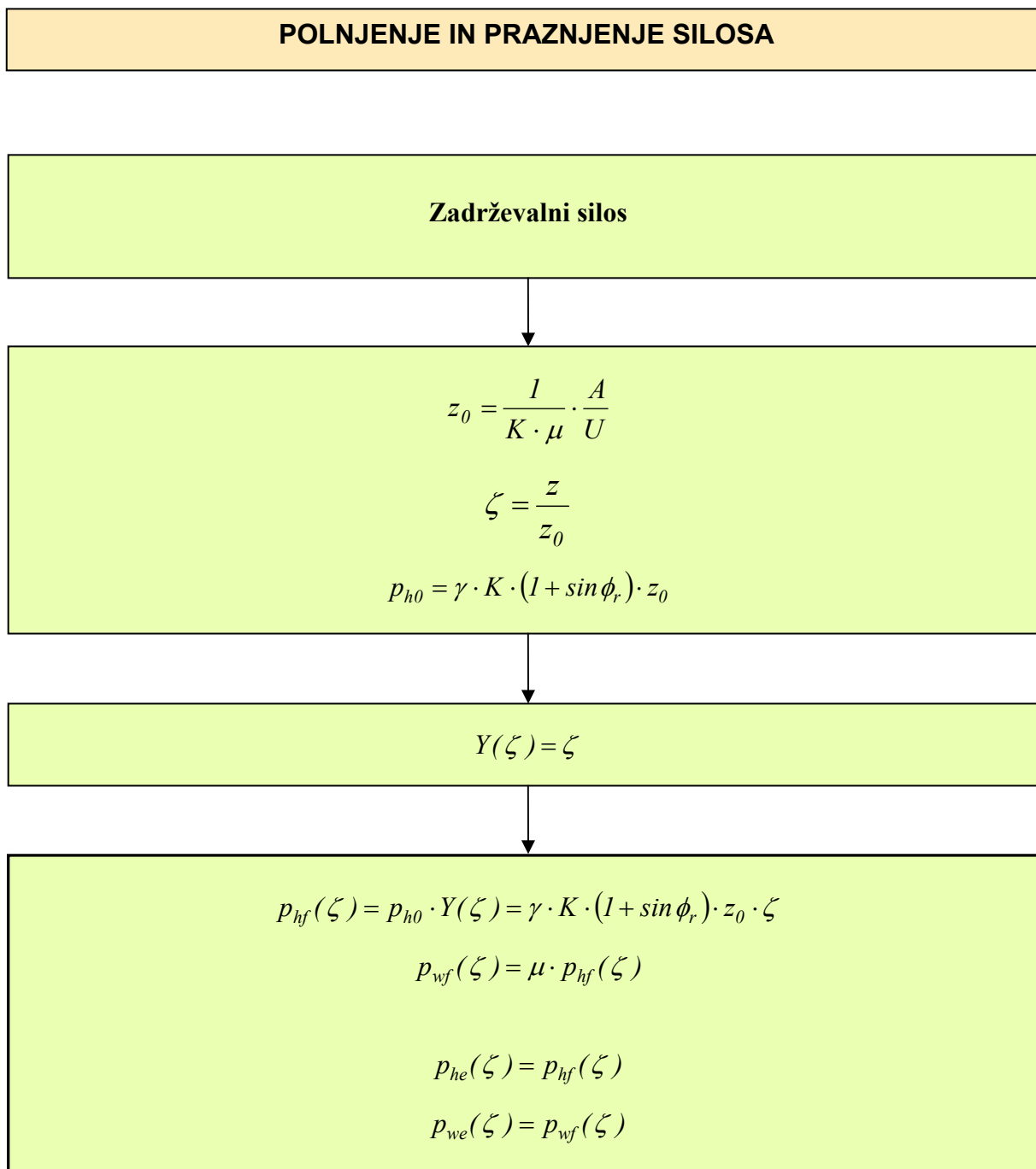


Diagram 1.3



7. korak: Pritiski na lijak

Pritiske na steno lijaka se določi po diagramu 2 za obe kombinaciji materialnih parametrov iz preglednice 8: kombinacija 4 se nanaša na določitev maksimalnega pritiska p_n in maksimalnega trenja p_t pri polnjenju, kombinacija 5 pa na določitev teh dveh količin pri praznjenju.

Preden se lotimo izračuna maksimalnega pritiska p_n in maksimalnega trenja p_t za polnjenje in za praznjenje, moramo določiti maksimalni vertikalni pritisk v materialu pri polnjenju cilindra p_{vf} , saj sta p_n in p_t odvisna od njega. Določimo ga po diagramu 1.1 za kombinacijo materialnih parametrov, ki je podana v preglednici 8. Računamo njegovo vrednost na mestu prehoda iz cilindra v lijak, t.j. pri $\zeta = h_c / z_0$.

Pri dotekanju materiala v silos in pri iztekanju materiala iz silosa so pritiski na stene lijaka večji, kot so, če material miruje. To dejstvo se upošteva s faktorjem povečave pritiska C_b (preglednica 9), s katerim se poveča maksimalni vertikalni pritisk v materialu pri polnjenju cilindra p_{vf} (glej diagram 2). Dinamična verzija faktorja C_b se uporabi, kadar obstaja velika verjetnost, da bo pri shranjevanju prišlo do dinamičnih učinkov. Ti se lahko pojavijo, če v vitkem silosu shranjujemo materiale, ki nimajo nizke kohezije (za več o tem glej EN 1991-4, poglavje 1.5.24 [CEN, 2006a]) ali če shranjujemo material, katerega zrna se lahko mehansko zaklinijo (npr. cementni klinker).

Preglednica 9: Faktor povečave pritiska (C_b)

	AAC	C_b
Statičen (standarden)	1	1.3
	2 in 3	1.0
Dinamičen	1	1.6
	2 in 3	1.2

V diagramih 2.1, 2.2 in 2.3 je pritisku in trenju pri polnjenju dodan indeks f , pritisku in trenju pri praznjenju pa indeks e . Oznake na desni strani enačb so pojasnjene v preglednicah 2, 4 in sliki 4.

Diagram 2: Določitev pritiska na steno lijaka

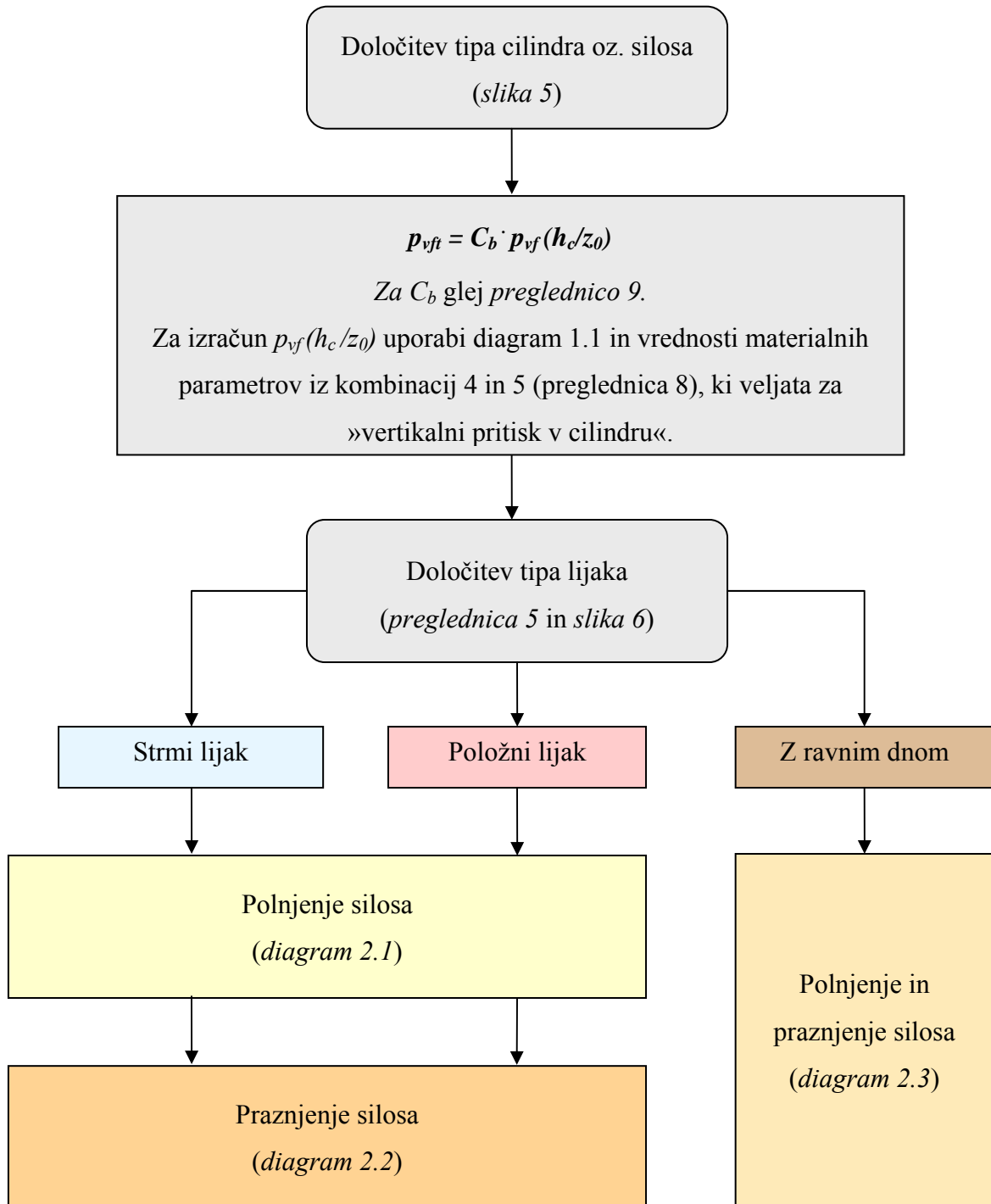


Diagram 2.1

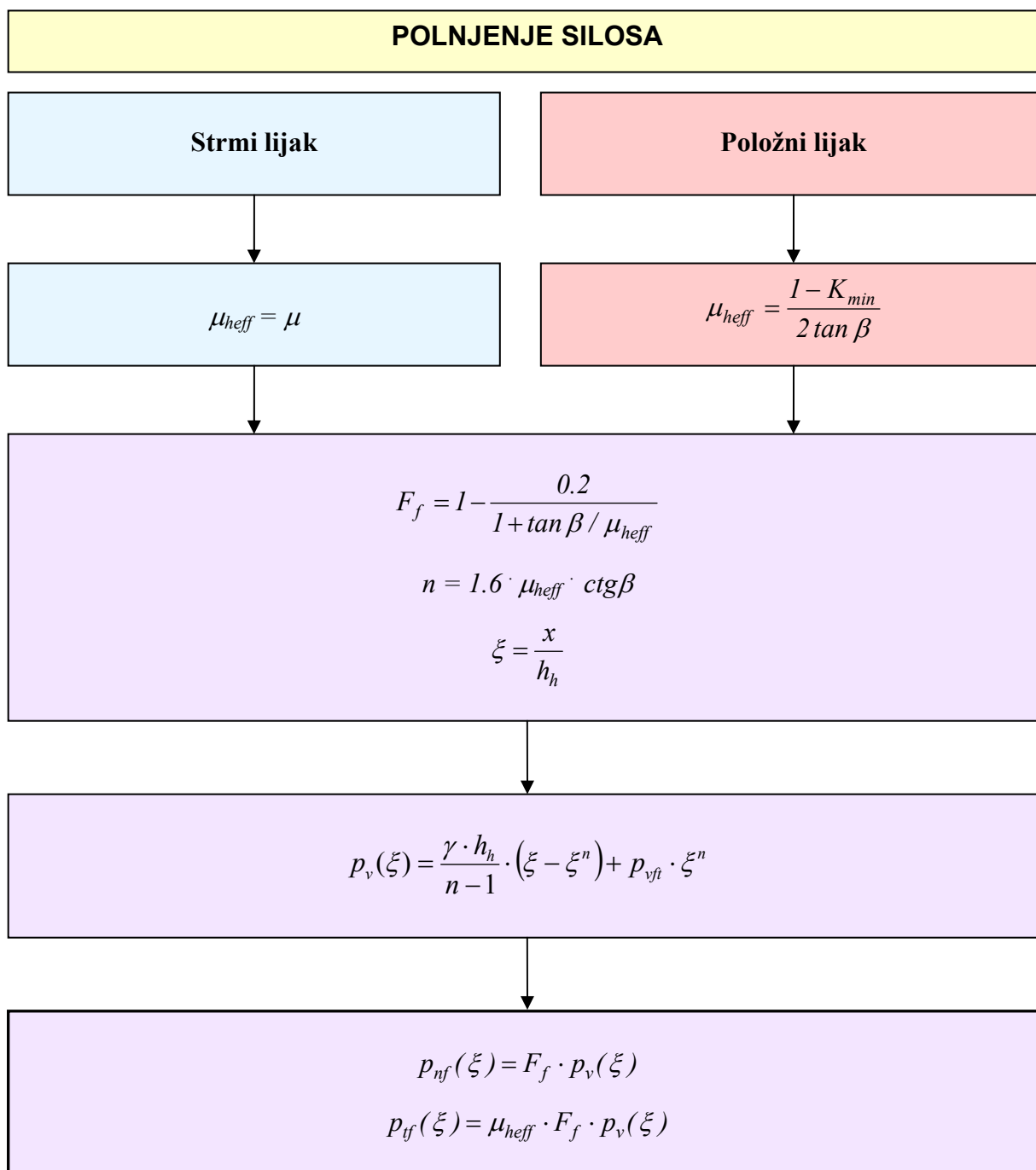


Diagram 2.2

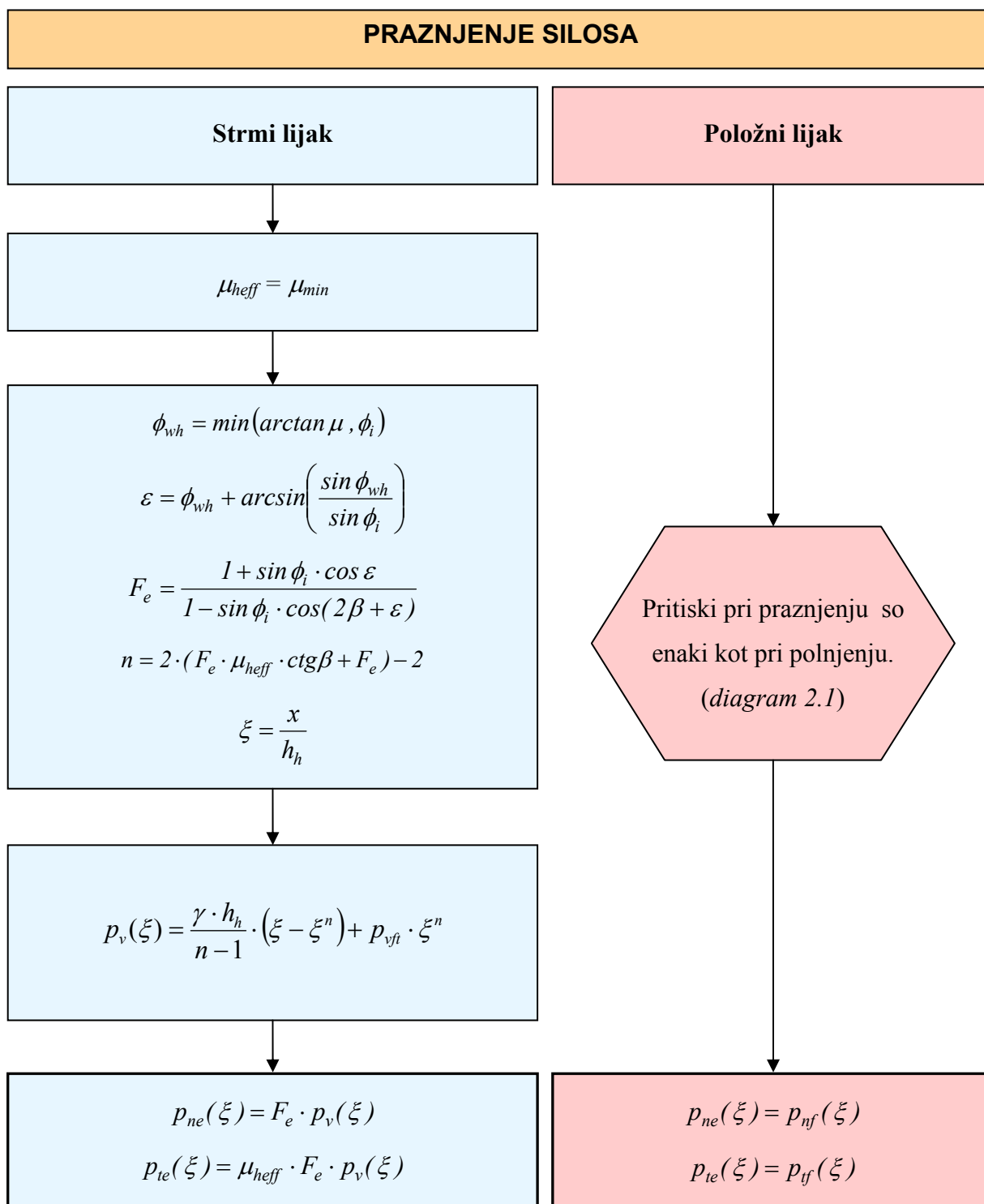
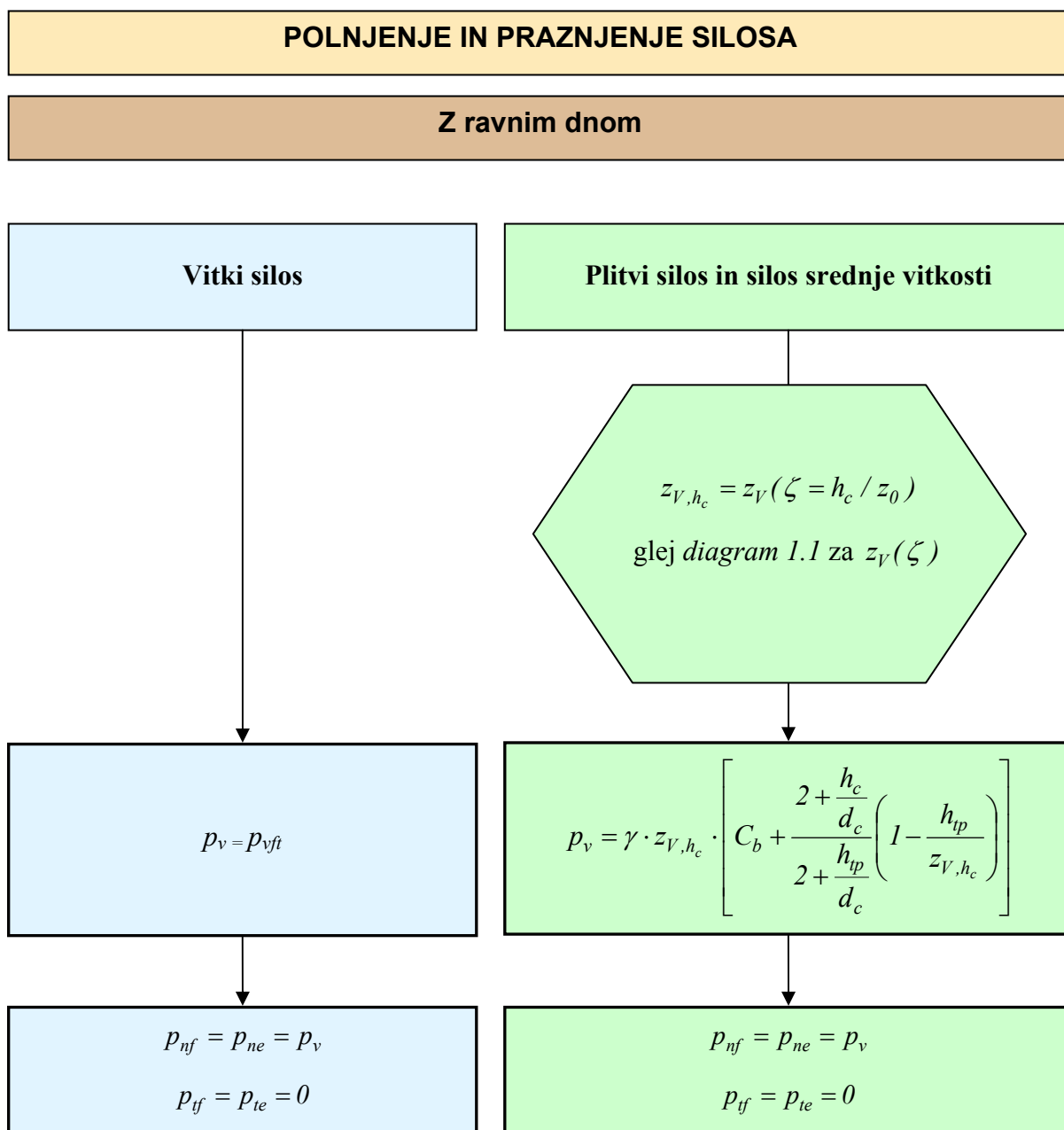


Diagram 2.3



3 Nesimetrična obtežba zaradi polnjenja in praznjenja

Slučajne, nesimetrične vplive, ki nastanejo pri polnjenju in praznjenju, se po standardu EN 1991-4 [CEN, 2006a] upoštevata z nesimetrično obtežbo, katere vplivi se pojavijo samo v cilindru. Upoštevati jo je treba pri vitkih, srednje vitkih in plitvih silosih, ki pripadajo razredu obremenitve 2 in 3. Pri razredu obremenitve 1 in pri zadrževalnem silosu je ni treba upoštevati.

Kadar spada obravnavani silos v razred obremenitve 2 in kadar je silos na vrhu pokrit s streho (oz. je na dnu in na vrhu dodan ojačitveni obroč), nesimetrijo upoštevamo tako, da povečamo osno simetrične pritiske iz 2. poglavja. Za silose med procesom polnjenja velja

$$p_{hf,u}(\zeta) = (1 + 0.5 C_{pf}) \cdot p_{hf}(\zeta) \quad (1)$$

$$p_{wf,u}(\zeta) = (1 + C_{pf}) \cdot p_{wf}(\zeta) \quad (2)$$

Za silose med praznjenjem pa velja

$$p_{he,u}(\zeta) = (1 + 0.5 C_{pe}) \cdot p_{he}(\zeta) \quad (3)$$

$$p_{we,u}(\zeta) = (1 + C_{pe}) \cdot p_{we}(\zeta) \quad (4)$$

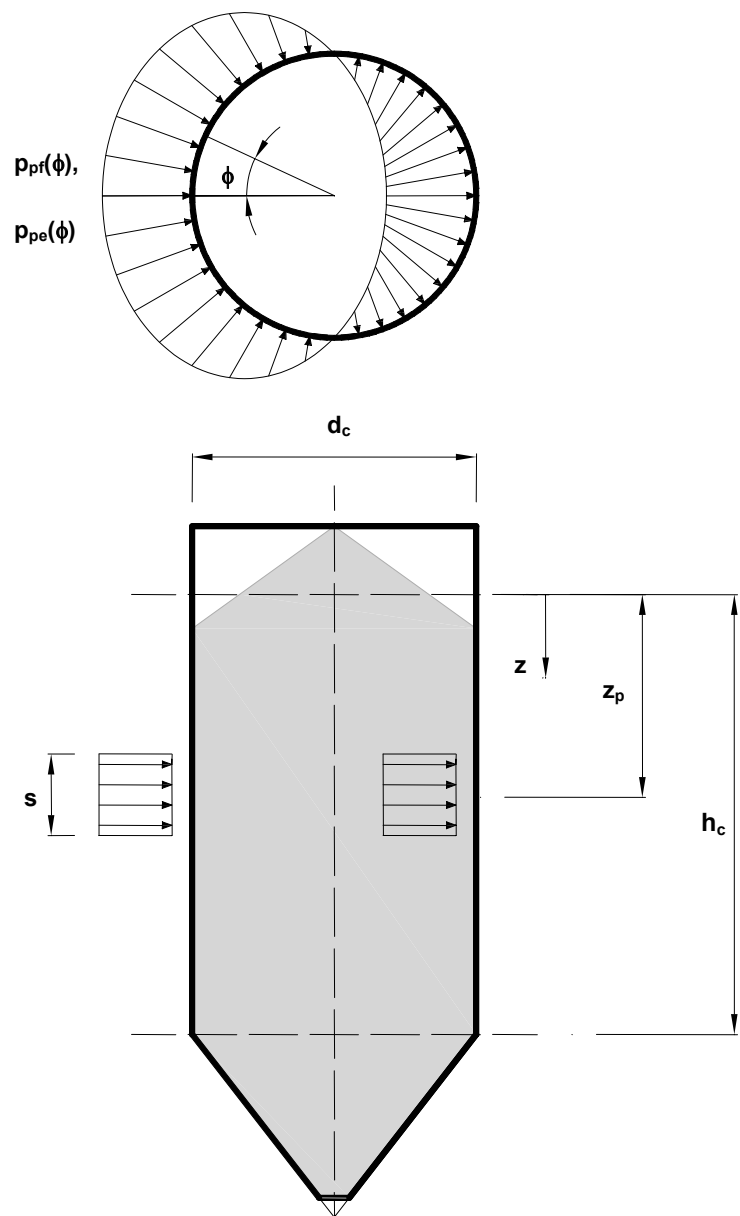
Vrednosti koeficientov C_{pf} in C_{pe} se določijo po diagramu 3. Indeks u v enačbah (1) do (4) označuje pritisk, pri katerem so upoštevani nesimetrični vplivi.

Kadar spada obravnavani silos v razred obremenitve 3, se nesimetrične vplive upošteva z nesimetrično kosinusno obtežbo p_{pf} (polnjenje) oziroma p_{pe} (praznjenje), ki deluje na odseku dolžine s , na globini z_p (slika 7):

$$s = 0.2 \cdot d_c \quad (5)$$

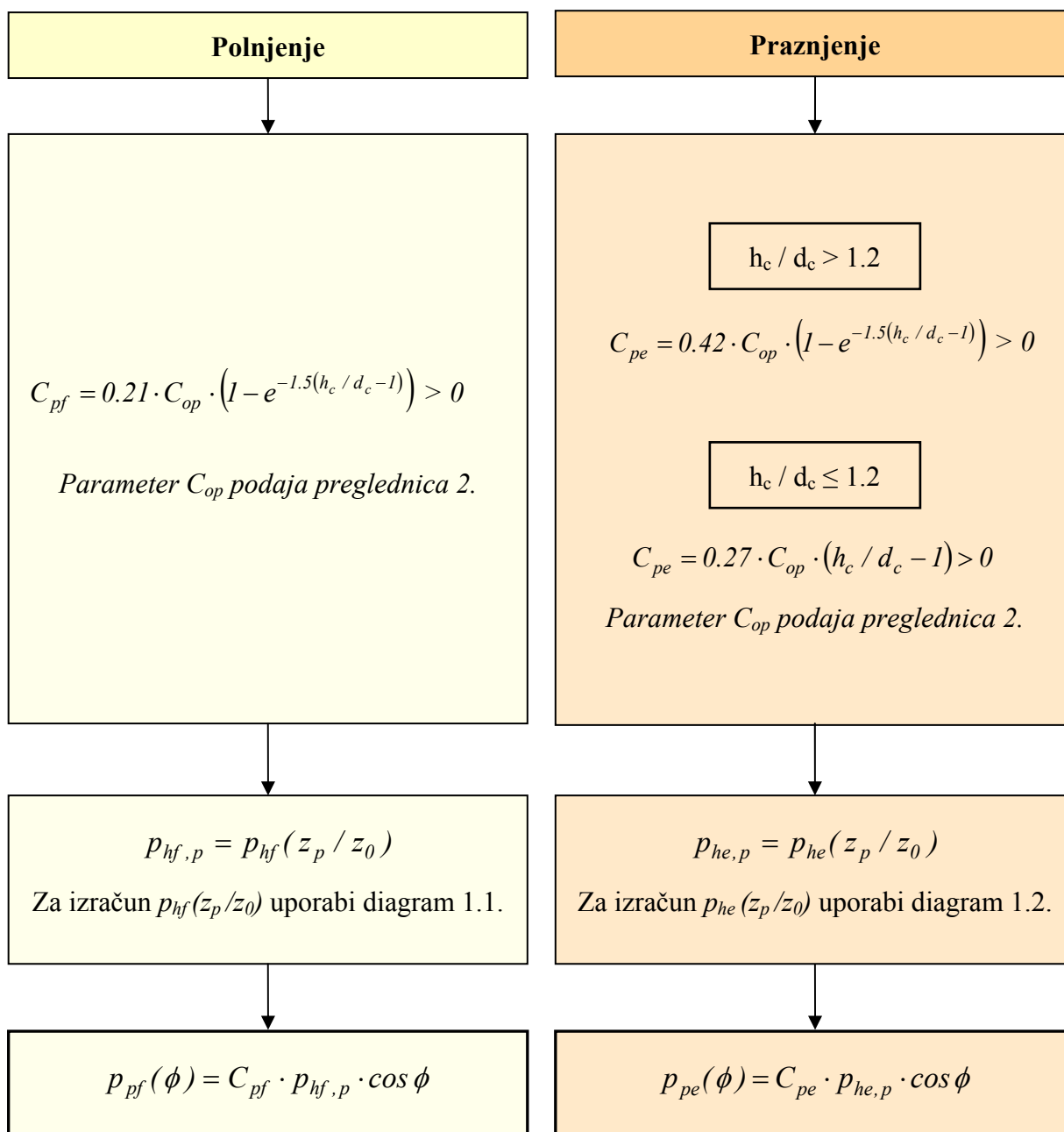
$$z_p = \min(z_0, h_c) \quad (6)$$

Referenčno višino z_0 podaja diagram 1.1. Nesimetrično obtežbo moramo upoštevati skupaj s simetrično. Postopek za njeno določitev je v diagramu 3.



Slika 7: Potek nesimetrične obtežbe pri silosih v razredu obremenitve 3

Diagram 3: Določitev nesimetrične obtežbe pri silosih v razredu obremenitve 3



4 Zaključek

Članek je mišljen kot pomoč pri projektiranju jeklenih osno simetričnih silosov po Evrokodih, saj na pregleden način prikazuje postopek določitve pritiskov na stene silosa zaradi polnjenja in praznjenja po EN 1991-4 [CEN, 2006a] za silose različnih kapacitet in tipov. Celoten postopek je prikazan v sedmih zaporednih korakih in nekaj diagramih, ki so strukturirani tako, da jih je mogoče uporabiti tudi kot algoritem za računalniški program [Petrovčič, 2008]. Določitev poteka pripadajočih membranskih sil po posameznih delih silosa ter ilustrativni primer izračuna je podan v spremljajočem članku [Petrovčič et. al., 2009].

5 Literatura

CEN, Eurocode 0: Basis of structural design, EN 1990, European Committee for Standardization, 2000.

CEN, Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions – Wind actions, EN 1991-1-4, European Committee for Standardization, 2005.

CEN, Eurocode 1: Actions on structures - Part 4: Actions on silos and tanks, EN 1991-4, European Committee for Standardization, 2006a.

CEN, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, EN 1998-1, European Committee for Standardization, 2004.

CEN, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 4: Silos, tanks and pipelines, EN 1998-4, European Committee for Standardization, 2006b.

Guggenberger, W., Wallner, S., Beulbemessung diskret gelagerter dünnwandiger kreiszylindrischer Stahlsilokonstruktionen nach EN 1993-1-6. Stahlbau, 75, 9, 2006.

Petrovčič, S., Analiza in projektiranje tankostenskih cilindričnih silosov v skladu z Evrokod standardi, Diplomaska naloga, Univerza v Ljubljani, FGG, 2008.

Petrovčič, S., Guggenberger, W., Brank, B., Jekleni silosi za sipke materiale: 2. del – Membranske sile pri polnjenju in praznjenju, Gradbeni vestnik, poslano v objavo, 2009.