



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

INSENERITEADUSKOND

Virumaa kolledž

Kõrgelt avaneva tõstetava hüdroluugi koormuse arvutus
Calculation of the load on the highopening lifting hydraulic hatch
MASINAEHITUSTEHNOLÓGIA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Veronica Baranova

Üliõpilaskood: 182710

Juhendaja: Igor Penkov,

Kaasjuhendaja: Gennadi Arjassov

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor: Veronica Baranova

/allkiri/

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja: Igor Penkov

/allkiri/

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees: Veroonika Shirokova

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Veronica Baranova (sünnikuupäev: 10.11.1983)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Tõstekatuse konstruktsiooni koormuste arvutamine", mille juhendaja on Igor Penkov,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Veronica Baranova, 182710

Õppekava, peaeriala: EDJR 16/17- Masinaehitustehnoloogia

Juhendaja: Igor Penkov, igor.penkov@taltech.ee, +372 516 9922

Konsultant: Gennadi Arjassov, gennadi.arjassov@taltech.ee, +372 55539689

Lõputöö teema:

(eesti keeles) "Tõstekatuse konstruktsiooni koormuste arvutamine"

(inglise keeles) "Calculation of loads on a lifting roof structure"

Lõputöö põhieesmärgid:

Projekteerimine, koormuste arvutamine, valmistamine ja paigaldamine.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Mustandjoonise vormistamine	25.03.2022
2.	Arvutuslik osa / arvutuste teostamine	01.04.2022
3.	Tehnoloogilise protsessi kirjeldamine	10.03.2022
4.	Ligikaudne kogumaksumus	20.03.2022
8.	Lõputöö vormistamine	10.04.2022

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg:

"09" mai 2022a

Üliõpilane: Veronica Baranova /digiallkiri/

Juhendaja: Igor Penkov /digiallkiri/

Programmijuht: Veroonika Shirokova /digiallkiri/

SISUKORD

SISUKORD.....	5
EESSÕNA	7
LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU.....	8
SISSEJUHATUS	9
1 TOOTE EESMÄRGID JA TOOTEKIRJELDUS.....	10
1.1 Projekteeritava süsteemiga tutvumine, analüüs ja kirjeldamine.....	10
1.2 Moodulkonteinerlao katuse projekteerimisel lahendatavad eesmärgid	12
1.3 Patendiuringud	13
2 ARVUTUSLIK OSA.....	14
2.1 Üksikute konstruktsioonide massi arvutamine	14
2.1.1 Luugi mass ilma visiirita	14
2.1.2 Visiiri kaal	16
2.2 Lumekoormuse arvutamine	17
2.3 Luugi jäikuse arvutamine	19
2.4 Tuulekoormuse arvutamine avatud luugiga.....	20
2.5 Hüdraulika silindrite arvutus	27
2.5.1 Kolmekraadise nurga arvutamine	27
2.5.1.1 Silindri parameetrite valik.....	30
2.5.1.1.1 Koormuse suurus	30
2.5.1.2 Surve valik	30
2.5.1.3 Silindrile mõjuvad jõud	30
2.5.2 Nurkade arvutamine seitsekümmend kaks kraadi	31
2.6 Hüdrosilindri aasade arvutus.....	36
2.6.1 Hüdrosilindri alumiste kõrvade arvutamine	37
2.6.2 Luugi aasade arvutamine	39
MAJANDUSLIK OSA.....	41
KOKKUVÕTE	42
SUMMARY.....	43
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	44
LISA 1.....	45
LISA 2.....	49
LISA 3.....	50
LISA 4.....	51
LISA 5.....	52
LISA 6.....	53

Joonis 2.1 Luugi jäikuse arvutamine luugi asendis 72,80.....	19
Joonis 2.2 Avatava konteineri kül- ja eestvaade skemaatiline joonis.....	20
Joonis 2.3 Tuulemustrit Eestis	20
Joonis 2.4 Jõuväärtused: tuul F_w (F_1, F_2, F_3, F_4), luugi raskuse Q_l ja visiiri raskuse Q_v , hüdrosilindri jõud F_n	21
Joonis 2.5 Katuseluugile ja visiirile avaldatava välisrõhu koefitsient C_f ja C_{pe}	22
Joonis 2.6 Hüdraulilise katuseluugi tõstesõlme külgsaade 3,2 kraadi juures	27
Joonis 2.7 Tõstev katuse ja hüdrosilindri lineaarsete mõõtmete ja nurkade skeem asendis 3,2 kraadi	27
Joonis 2.8 Hüdrosilindri jõupingutuste skeem luugi alumises asendis 3,2 kraadi	28
Joonis 2.9 Silindrile mõjuvad jõud.....	30
Joonis 2.10 Hüdraulilise katuseluugi tõstesõlme külgsaade 72,8 kraadi juures.....	31
Joonis 2.11 Tõstev katuse ja hüdrosilindri lineaarsete mõõtmete ja nurkade skeem asendis 72,8 kraadi	32
Joonis 2.12 Hüdraulilise silindri jõu diagramm	34
Joonis 2.13 Ülemises asendis olevatele kõrvadele mõjuvate jõudude skeem	36
Joonis 2.14 Keevisõmbluste arvutamine joonise PK11-4.10.000 põhjal.....	37
Joonis 2.15 Keevitusõmbluste arvutamine joonise PK11-4.09.000 põhjal	39
Joonis 1 PK11-4.08.000.....	45
Joonis 2 PK11-4.08.100.....	46
Joonis 3 PK11-4.08.200.....	47
Joonis 4 PK11-4.00.000-1.....	48
Joonis 5 Maastiku kõrgusasendi ja lumekoormuste seoste tabeli joonis.....	49
Joonis 6 Standardist (EVS-EN 1991-1-3:2006/AC:2009 Joonis C.8)	50
Joonis 7 Maastikutüüpide ja kareduse parameetrite tabeli joonis	51
Joonis 8 lokaalne orograafiline koefitsient	52

EESSÕNA

Töö teema on pakutud autori praktikajuhendaja poolt Oleg Golmakov, praktika oli läbitud BioMobitek ettevõttes. Lõputööd on võimalik arendada edasi ja rakendada ettevõtte töös tulevikus.

Lõputöö kirjutamisel autor kasutas ettevõtte siseseid dokumente. Samuti autor konsulteeris töö ettevõtte peainseneriga ja teiste metallitöötluste ja metalli tootmisega tegelevate ettevõtete inseneridega.

Tahan tänada lõputöö juhendajad Igor Penkov ja Gennadi Arjassovit, programmijuhti Veronika Shirokovat ja kõiki TalTech Virumaa Kolledži õpejõude. Lisaks tahaksin tänada oma perekonda ja sõpru toetuse eest.

Lõputöö võtmesõnad: rakenduskõrgharidusõppe lõputöö, BioMobitek, Moodulkatlamaja, vertikaalne veesoojenduskatel, katuseluuk, tuulekoormus, lumekoormus, hüdrosilinder, alternatiivenergia.

LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

- μ_i — lumekoormuse kujutegur
 C_e — avatustegur
 C_t — soojustegur
 s_k — lumekoormuse normsuurus maapinnal
 s — lume normkoormus katusel
 $v_{b,0}$ — tuule baaskiiruse
 v_b — tuule kiiruse põhiväärtus
 c_{dir} — tuule suuna koefitsient
 c_{season} — hooajaline koefitsient
 k_r — maastikutüübi tegur
 z_0 — kareduse parameter
 $c_r(z)$ — koefitsient, mis võtab arvesse tuule keskmise kiiruse
 z_e — baaskõrgus
 $c_0(z)$ — orograafiline koefitsient /pinnavormitegur
 $z_{0,ji}$ — maastikutüübi karedusmõõt
 k_i — turbulentsitegur
 $l_v(z_e)$ — turbulentsi intensiivsus
 q_p — keskmine tuule baaskiirus
 ρ — õhu tihedus
 v_m — tuule keskmine kiirus
 $C_{p,net}$ — välisrõhutegur
 q_p — tule maksimalne kirus
 z_e — arvutuskõrgus
 w — tuule rõhk pinnal
 f — maksimaalne läbipaine
 E — elastsusmoodul
 F_g — raskusjõud
 F_H — hõõrdejõud
 A_p — ristlõikepindala
 $[\sigma]$ — lubatud pinged
 $[\tau]$ — nihkepinge

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk oli koostada joonised ja arvutada kõrgelt avaneva tõstetava hüdroluugi koormus kütusehoidlaga moodulmahutile.

Arvutused on näidanud, et luugi hüdrosilindrid ja silindrikinnitus peavad tuule- ja lumekoormust arvesse võttes vastu luugi raskusele.

Lõputöö teema on seotud sellega, et hetkel kasvab nõudlus taastuvate energiaallikate järele maailmas, Euroopa Liidus ja meie riigis pidevalt, mistõttu otsitakse tõhusaid lahendusi alternatiivsete energiaallikate, nende kasutamise ja Areng on muutumas üha aktuaalsemaks kõikide ELi riikide jaoks, kes osalevad tulevikus uuenduslike tehnoloogiate väljatöötamise protsessis.

Seetõttu on EL-i ja eelkõige Eesti globaalse julgeoleku tagamiseks vajalik uut tüüpi seadmete väljatöötamine. Seetõttu on praegu üha aktuaalsem küsimus sõltumatute energiaallikate ehitamisest ja käikulaskmine, mis võtab lühikest aega.

Rohkem kui kümme aastat tagasi alustas BioMobitek autonoomsete biokütuse katlasüsteemide väljatöötamist, mis võimaldavad klientidel oma probleemid suhteliselt lühikese ajaga lahendada. BioMobitek moodulkatlajaamad on mõeldud elamute, ühiskondlike ja tööstushoonete kütmiseks ja soojavee varustuseks. Selline moodulmahuti sisaldab kõiki vajalikke sõlmesid soojuse tootmiseks. Süsteem on katsekäivitamiseks valmis 7 päeva pärast paigaldamist eelnevalt ettevalmistatud vundamendile ja pärast elektrivõrgu ja küttrassidega ühendamist.

Kuna iga selline katlajaam on individuaalne projekt ja on seotud kliendi vajadustega, siis see lõputöö on seotud tellimusega 063. Mis sisaldab modulaarset hoiukonteinerit.

1 TOOTE EESMÄRGID JA TOOTEKIRJELDUS

1.1 Projekteeritava süsteemiga tutvumine, analüüs ja kirjeldamine

2008. aasta septembris ütles energiavolinik Andris Piebalgs Euroopa Parlamendi koosolekul, et "varustuskindlus algab tegelikult energiatõhususest."

11. detsembril 2018 võeti vastu Euroopa Parlamendi ja Euroopa Liidu Nõukogu direktiiv 2018/2001 (EL) taastuvatest energiaallikatest toodetud energia kasutamise edendamise kohta. Samuti on vastu võetud direktiivid kasulikul soojuskoormusel põhineva koostootmise soodustamiseks kodumaisel energiaturul.

BioMobitek asutati 2012. aastal. Ettevõtte arendab, toodab ja paigaldab statsionaarseid katlasüsteeme võimsusega 150 kW kuni 10 MW, mis kasutavad kütusena biomassi. Selle ettevõtte toodetud seadmed on ehitatud individuaalsete projektide järgi, sõltuvalt kliendi eelistustest.

Tuginedes aastatepikkusele kogemusele seadmete tootmisel, käitamisel ja arendamisel, toodab BioMobitek keskkonnasõbralikku integreeritud süsteemi, mis sisaldab 150 kW - 10 MW biokütusel töötavad kuumaveeboilerid, kütuse etteandeseadmeid, tuhaemaldusseadmeid, suitsugaaside puhastusseadmeid, konveierid, samuti seadmed puistematerjalide ladustamiseks.

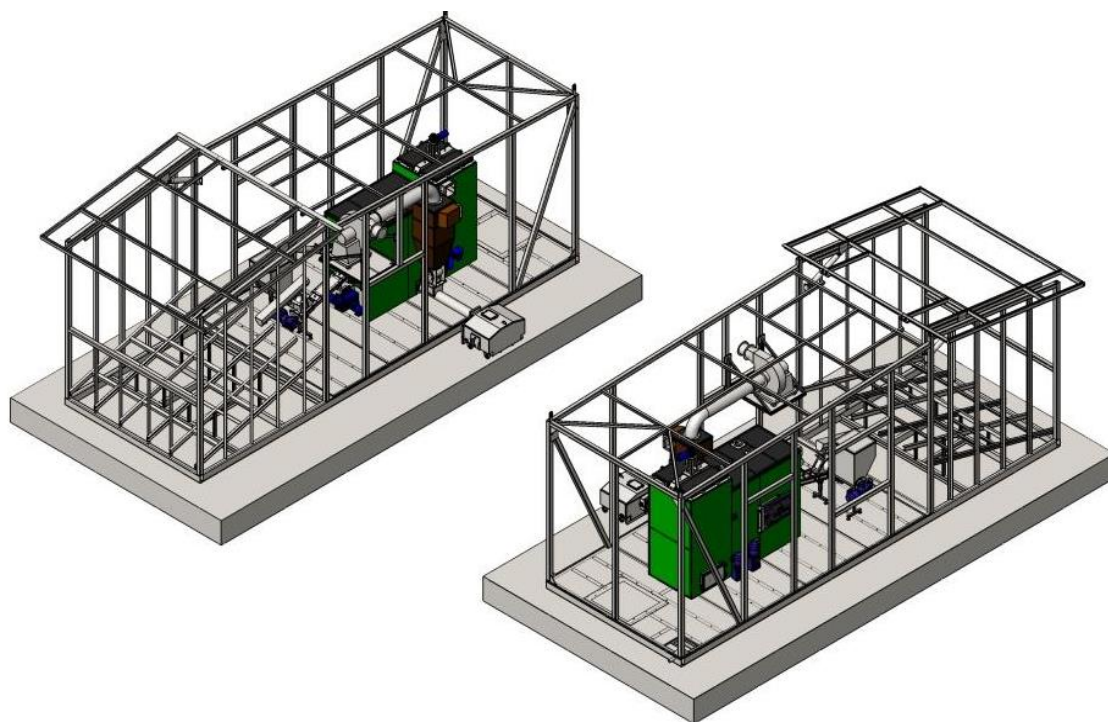
Individuaalprojekt 063 loodi PowerCont 150–999 kW projekti alusel, mis koosneb katlaruumist ja kütusehoidlast mahuga 25 – 65 m³.

Sellise süsteemi eelisteks on see, et see on valmis katsetamiseks 3 päeva pärast valmistamist. Selle moodulkatlamaja jaoks saab kütusena kasutada hakkepuitu, pelleteid, mätasturvast, põllumajandus- ja puidutöötlemisjätmeid.

Katlajaam võib töötada vahemikus 10-110% nimivõimsusest ja kütusel, mille niiskusesisaldus on 10-55%. Sellise süsteemi efektiivsus ulatub 97% -ni.

PowerCont moodul sisaldab järgmist: moodulkatlamaja, vertikaalne veesoojenduskatel, BM-150...BM-999 seeria, liigsurve paak koos tigutransportööriga kütuse suunamiseks põlemistsooni, kaugjuhtimine GSM vahendusel, automaatne õhu põlemistsooni etteandesüsteem, rootorsulguriga tsüklon, automaatne tuhaarastussüsteem põletist ja tsüklonist, tõmbeventilaator, veesüsteemi ühenduste kinnitused koos kõigi vajalike tsirkulatsioonipumpade ja sulgeventiiliga, katlamaja juhtimissüsteem (arvutiseadmed, tarkvara), automaatne põlemissüsteem fikseeritud seadistusega erinevat tüüpi kütuste kasutamiseks, automaatne surve ennistamise süsteem katlas, ventilatsioonisüsteem, elektri- ja automaatikakapp, kütuseladu ja vedruga jugapump, mõõtmised 3 x 3 meetrit või 4 x 4 meetrit, katla hüdraulikakeskus, mooduli valgustus, välisvalgustus koos liikumisanduriga, vee kogumise ja ärajuhtimise süsteem, mooduli sisene äravoolusüsteem, dekoratiivne sise- ja välisviimistlus.

Käesolevas lõputöös on rõhk moodulmahuti kütusehoidla tõstetel. Ja katusekonstruktsiooni koormuste arvutamine



1.2 Moodulkonteinerlao katuse projekteerimisel lahendatavad eesmärgid

Lõputöö eesmärk on arvutada kütusehoidla katusekonstruktsiooni koormus ja teha joonised. Selleks on vaja teha järgmised arvutused:

- Üksikute luugikonstruktsioonide massi arvutamine
 - Luugi massi põhiosa arvutamine
 - Visiiri massi arvutamine
- Lumekoormuse arvutamine
- Tuulekoormuse arvutamine avatud luugile
 - Tuul kiirusega $v=24$ m/s (maakoht)
- Hüdrosilindri arvutus
 - Hüdrosilinder nurgal $\alpha = 3.2^\circ$
 - Hüdrosilinder nurgal $\alpha = 72.8^\circ$
- Hüdrosilindri kinnitusaasade arvutus
 - Hüdrosilindri alumiste kõrvade arvutamine
 - Luugi aasade arvutamine
- Moodulmahuti üldjoonis.

1.3 Patendiuuringud

Minikatlaruumid on energiasüsteem, mis on peamiselt plokk- (moodul-) või karkassstruktuuriga. Need on saadaval konteineri kujundusega ja hoonete sees asuva energiakeskuse osana. Sõltuvalt köetava objekti soojustarbimisest jääb agregaatide võimsus vahemikku 80-600 kW.

Minikatlad tagavad maksimaalse investeeringutasuvuse, tootes soojust väga konkurentsivõimeliste hindadega. Investeeringute tasuvusaeg on 3-4 aastat.

Minikatlamaajade eeliseks on see, et neid saab kasumlikult kasutada tootmisettevõtetes, haldus-, büroo- ja laohoonetes, taludes, kasvuhoonekompleksides.

Iga katlajaam projekteeritakse individuaalselt ja selle võimsus valitakse vastavalt kliendi nõudmistele. Seetõttu toodab soojusgeneraator töötamise ajal nii palju soojust, kui on vajalik rajatise soojusvarustuseks. Katlamaja paigaldamine otse objektile minimeerib soojuskadu, mis toob kaasa tegevuskulude ja katlamaja paigaldamise kulude vähenemise.

Kaasaegsed plokk-minikatlad on täielikult automatiseeritud paigaldised, mis on varustatud katkematuks võrguühenduseta tööks vajalike seadmete komplektiga. Juhtseade tagab ja juhib automaatselt kõigi soojusgeneraatorisüsteemide tööd tavarežiimis. Selline lähenemine lihtsustab oluliselt juhtimisprotsessi ennast. Nendes süsteemides taandub see katlaruumi töö jälgimisele, mida saab teha väljas asuvast kaugjuhtimispuldist. See välistab ka vajaduse ööpäevaringse operaatori kohaloleku järele.

Minikatlamaajade automatiseeritud juhtimissüsteemi eeliseks on ka välistemperatuuri reguleerimise võimalus. See võimaldab automaatselt suurendada või vähendada kütusevarustust, kui temperatuur tõuseb või langeb. See lahendus tagab soojusgraafiku järgimise ja minimeerib jaama käitamise kulusid. Ebatavalise olukorra korral katkestab juhtimissüsteem automaatselt kütusevarustuse ja annab häire.

Mini-katlaruumide eelised:

- lihtne ja mugav süsteemihaldus ja hooldus;
- katlaruumi soodne hind maksimaalse kvaliteediga;
- töö ökonoomsus ja kiire tasuvus;

Võimalus töörežiimi automaatselt muuta välisõhu temperatuuri muutumisel.

Maailmas on suur hulk minikatelde tootmisega tegelevaid ettevõtteid.

2 ARVUTUSLIK OSA

2.1 Üksikute konstruktsioonide massi arvutamine

2.1.1 Luugi mass ilma visiirita

Katuse paigaldusjoonis: PK11-4.08.000 (vt Lisa 1, Joonis 1)

Katuse ülaosa - koostejoonis PK11-4.08.100 (vt Lisa 1, Joonis 2)

$$S_{luugi} = a \cdot b = 4622 \cdot 4180 = 193199,6 \text{ cm}^2 = 19,32 \text{ m}^2, \quad (2.1)$$

kus a – luugi pikkus

b – luugi laius

Metallist leht:

$$\text{Maht } V = S \cdot h = 193199,6 \cdot 0,2 = 38639,92 \text{ cm}^3 \quad (2.2)$$

kus S – luugi pindala (vt valemit 2.1)

h – kõrgus (lehe paksus 2 mm)

$$\text{Luugi mass } m = V \cdot d = 38639,92 \cdot 7,85 = 301\,203,872 \text{ g} = 303,3 \text{ kg}. \quad (2.3)$$

kus

V – luugi maht (vt valimit 2.2)

d – tihedus (steel density – 7,85 g/cm³)

Klaasvill: ISOVER

Klaasvilla maht:

$$V = S \cdot h = 19,32 \cdot 0,1 \text{ m} = 1,932 \text{ m}^3 \quad (2.4)$$

kus S – luugi pindala (vt valemit 2.1)

h – kõrgus (ISOVER paksus 100 mm)

Klaasvilla mass:

$$m = V \cdot d = 1,932 \cdot 14 = 27,1 \text{ kg} \quad (2.5)$$

kus

V – luugi maht (vt valimit 2.2)

d – tihedus (erikaal – 14 kg/m³)

Vineer (5.5x2500x625): [3]

Ühe vineerilehe pindala:

$$S_{vineer} = a \cdot b = 2,5 \cdot 0,625 = 1,5625 \text{ m}^2 \quad (2.6)$$

Ühe vineerilehe mass:

$$m_{vineer} = 2,5 \cdot 0,625 \cdot 5,5 = 8,6 \text{ kg} \quad (2.7)$$

Mitu vineerilehte vaja:

$$x_{kogus} = \frac{S_{luugi}}{S_{vineer}} = \frac{19,32}{1,5625} = 12,3648 \approx 13 \text{ lehte} \quad (2.8)$$

$$\text{Seejärel vineeri kogumass: } m_{sum} = x_{kogus} \cdot m_{vineer} = 12,3648 \cdot 8,6 = 107,3 \text{ kg}$$

(2.9)

Rannila:

Rannila ühe ruutmeetri mass on 5.2 kg

$$\text{Siis rannila kogumass: } m_{rannila} = 19,32 \cdot 5,2 = 100,5 \text{ kg} \quad (2.10)$$

Katusekatte ülemise osa kogumass: metall, isolatsioon, vineer, rannila:

$$Q_{\Sigma} = 303,3 + 27,1 + 107,3 + 100,5 = 538,2 \text{ kg} \quad (\text{vt valimid 2.3, 2.5, 2.9, 2.10}) \quad (2.11)$$

Luugi raami kogumass ilma visiirita:

$$Q_{\Sigma k} = 460,68 - 74,96 = 385,72 \text{ kg} \quad (2.12)$$

Katuse paigaldusjoonis: PK11-4.08.000 mass on 460.68 kg (vt Lisa 1, Joonis 1)

Visiiri joonis koostejoonis PK11-4.08.200 mass on 74.96 kg (vt Lisa 1, Joonis 3)

Kaevukaane kogumass koos voodriga:

$$Q_{\Sigma l} = 385,72 + 538,2 = 923,82 \text{ kg} \quad (\text{vt valemit 2.11, 2.12}) \quad (2.13)$$

2.1.2 Visiiri kaal

Metalleht:

Visiiri kaal vastavalt joonisele PK11-04.08.200 mass võrdub 74.96 kg (vt Lisa 1, Joonis 1)

Kaks voodrilehte vastavalt joonisele PK11-04.08.004 mass on 55.15 kg (vt Lisa 1, Joonis 1)

Klaasvill: ISOVER

Klaasvilla erikaal = 14 kg/m³.

$$\text{Klaasvilla maht: } V = S \cdot h = 4,7988 \cdot 0,1\text{m} = 0,47988 \text{ m}^3 \quad (2.14)$$

$$\text{Klaasvilla mass: } m = V \cdot d = 0,47988 \cdot 14 = 6,72 \text{ kg} \quad (2.15)$$

Vineer:

$$\text{Ühe vineerilehe pindala: } S = a \cdot b = 2,5 \cdot 0,625 = 1,5625 \text{ m}^2 \quad (2.16)$$

$$\text{Vineeri summaarne vajalik pindala: } x_{kogus} = \frac{V}{S} = \frac{4,7988}{1,5625} = 3,07 \text{ m}^2 \quad (2.17)$$

$$\text{Seejärel vineeri kogumass: } m = 3,07 \cdot 8,68 = 26,65 \text{ kg} \quad (2.18)$$

Varikatuse kogumass koos voodriga (vt Lisa 1, Joonis 1, Joonis 2; valemid 2.15, 2.18)

$$Q_{\Sigma\text{visiiri}} = 74,96 + 55,15 + 6,72 + 26,65 = 164,84 \text{ kg} \quad (2.19)$$

2.2 Lumekoormuse arvutamine

Lumekoormuse arvutamine toimub vastavalt EUROKOODEKS 1: Ehituskonstruksioonide koormused. Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus (EN 1991-1-3-2009 (02250)) [1].

Lumekoormused vastavad valemile kohaselt sobivale katvuse määratlusele

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (2.20)$$

kus

μ_i – lumekoormuse kujutegur ($\mu_i = 0,8$);

C_e – avatustegur (tuule eest kaitsmata ($C_e = 0,8$);

C_t – soojustegur (rahvusliku lisa järgi 1,0);

s_k – lumekoormuse normsuurus maapinnal (kN/m^2)

s – lume normkoormus katusel (kN/m^2)

Tabel 1 rahvusliku lisa järgi koefitsiendi c soovitatavad väärtused erinevate maastikutingimuste jaoks (Standardtabelis 5.1) [1]

Maastikutingimused	C_e
Pole tuule eest kaitstud ^{a)}	0,8
Tavaline ^{b)}	1,0
Suletud ala ^{c)}	1,2

Temperatuurikoefitsiendi C_t tuleks kasutada arvutustes, et vähendada lumekoormust suurenenud soojusülekanedega katustel ($>1 \text{ W/m}^2\text{K}$), eriti mõne klaaskatuse puhul, kus lume sulamine toimub soojusülekande tõttu. Kõigil muudel juhtudel $C_t = 1$

MÄRKUS 1 Soojusisolatsiooniomadustest ja katuse kujust tingitud C_t lubatud vähenemine on sätestatud riiklikus lisas.

MÄRKUS 2 Täiendavate juhiste saamiseks vaadake ISO 4355.

Tabel 2 Lumekoormuse kujutegurid (Standardtabelis 5.2) [1]

Katuse kaldenurk	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8^\circ/30$	1,6	-

Katuse kaldenurk α on $25^\circ \rightarrow 0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$, siis $\mu_1 = 0,8$

s_k – lumekoormuse normsuurus maapinnal (kN/m^2). Rootsi ja Soome piirkondade valemile on võimalik leida standardi [1], (vt Lisast 2).

$$s_k = 0,790 \cdot Z - 0,357 + \frac{A}{336} \quad (2.21)$$

kus $z = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ (vt Joonis 6, Lisa 3)

siis

$$s_k = 0,790 \cdot 2 - 0,357 + \frac{103}{336} = 1,58 - 0,357 + 0,307 = 1,512 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

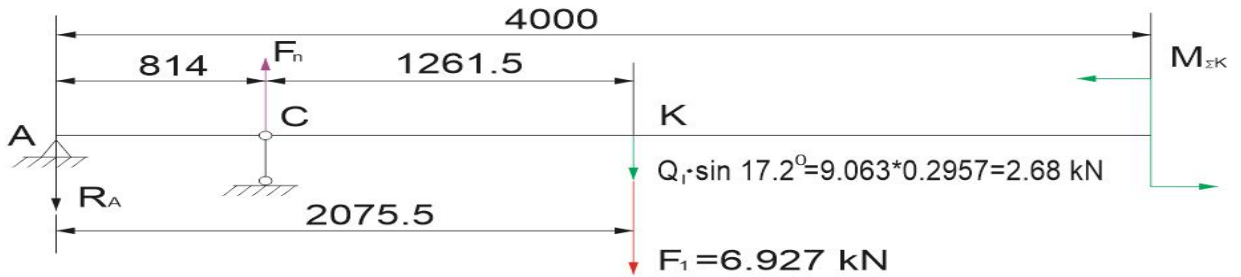
Teisendamine kilogrammidesse:

$$\frac{1,512}{9,81} = 0,154 \cdot 10^3 = 154 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \quad (2.22)$$

Seejärel luugi kogu lumekoormus (vt valemit 2.1, 2.22):

$$Q_{lumi} = s_k \cdot s_{luugi} = 154 \cdot 19,32 = 2,975 \text{ kg} \approx 3 \text{ t} \quad (2.23)$$

2.3 Luugi jäikuse arvutamine



Joonis 2.1 Luugi jäikuse arvutamine luugi asendis 72,8°

Maksimaalne läbipaine:

$$f = \frac{Fl^3}{3 \cdot EI_x} \quad (2.24)$$

$$F = F_1 + Q_l \cdot \sin 17.2^\circ = 6,927 + 2,68 = 9,607 \text{ kN} \quad (2.25)$$

F_1 – silindri jõud (vt Joonis 2.1)

Q_l – luugi mass (vt Joonis 2.1)

M – kogumoment visiiril

E – elastsusmoodul ($E = 200000 \text{ MPa} = 200 \text{ GPa}$)

Lubatud vertikaalne piirläbipaine [f_u]

$$[f_u] = \frac{l}{150}$$

l – pikkus I rakenduspunktini K (vt Joonis 2.1)

Vastavalt jäikuse tingimusele

$$V_{max} = f \leq [f]$$

$$\frac{Fl^3}{3 \cdot EI_{\Sigma x}} \leq \frac{l}{150}$$

Kus

$$I_{\Sigma x} = \frac{150 \cdot Fl^2}{3 \cdot E} \quad (2.26)$$

$$I_{\Sigma x} = \frac{150 \cdot 9,607 \cdot 10^3 \cdot 1,2615^2}{3 \cdot 200 \cdot 10^3} = 382 \text{ cm}^4$$

Ristkülikukujulisele torule 80x40x3 mm $I_y = 53.46 \text{ cm}^4$, Nurkprofiilile 63x40x5 mm

5,5 mm $I_{xy} = 6,41 \text{ cm}^4$

Selles projektis on kaks tugitoru 80x40x3, lisaks viis pikisuunalist toru keskel ja kaks nurkprofiili 63x40x5. Seega:

$$I_{xR} = 382 - 2 \cdot 6,41 = 369,18 \text{ cm}^4 \text{ (vt valemit 2.26)} \quad (2.27)$$

$$I_{xR} = \frac{369,18}{7} = 52,74 \text{ cm}^4 < 53,46 \text{ cm}^4 \text{ (vt valemit 2.27)} \quad (2.28)$$

Tuule kiiruse põhiväärtus määratakse järgmise valemiga:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 0,8 \cdot 1 \cdot 24 = 19,2 \quad (2.29) [2]$$

$v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ - tuule baaskiiruse põhiväärtus, mis on II tüüpi maastikul 10 m kõrgusel maapinnast keskmise tuule kiiruse iseloomulik väärtus ja määratakse EN riikliku lisa tuulepiirkondade kaardi järgi.

$c_{dir} = 0,8$ - koefitsient võttes arvesse tuule suunda ja määratud riikliku lisa tabelist

$c_{season} = 1$ - hooajaline koefitsient on võrdne 1.

k_r - maastikutüübi tegur, sõltuvalt kareduse parameetrist z_0 järgmise valemi järgi:

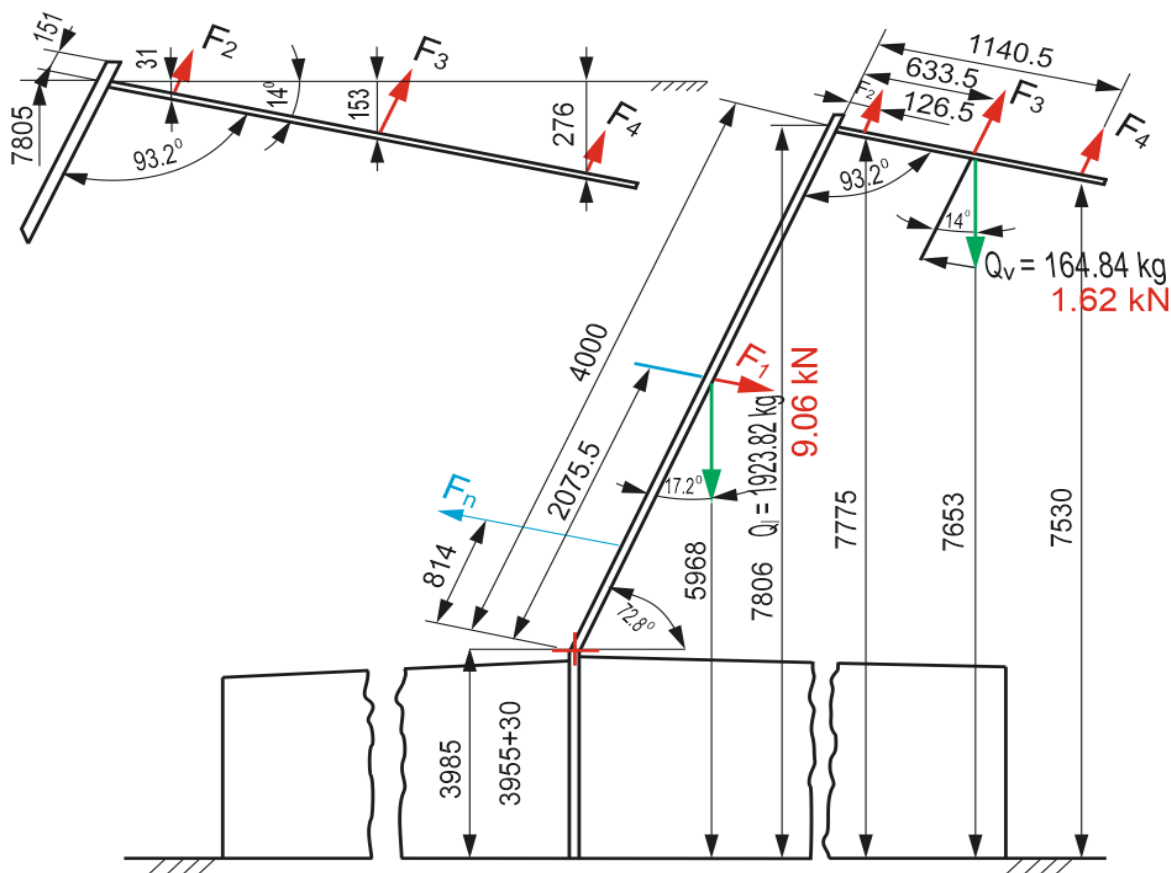
$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0.7}$$

Kus z_0 - kareduse parameter (karedusmõõt, m);

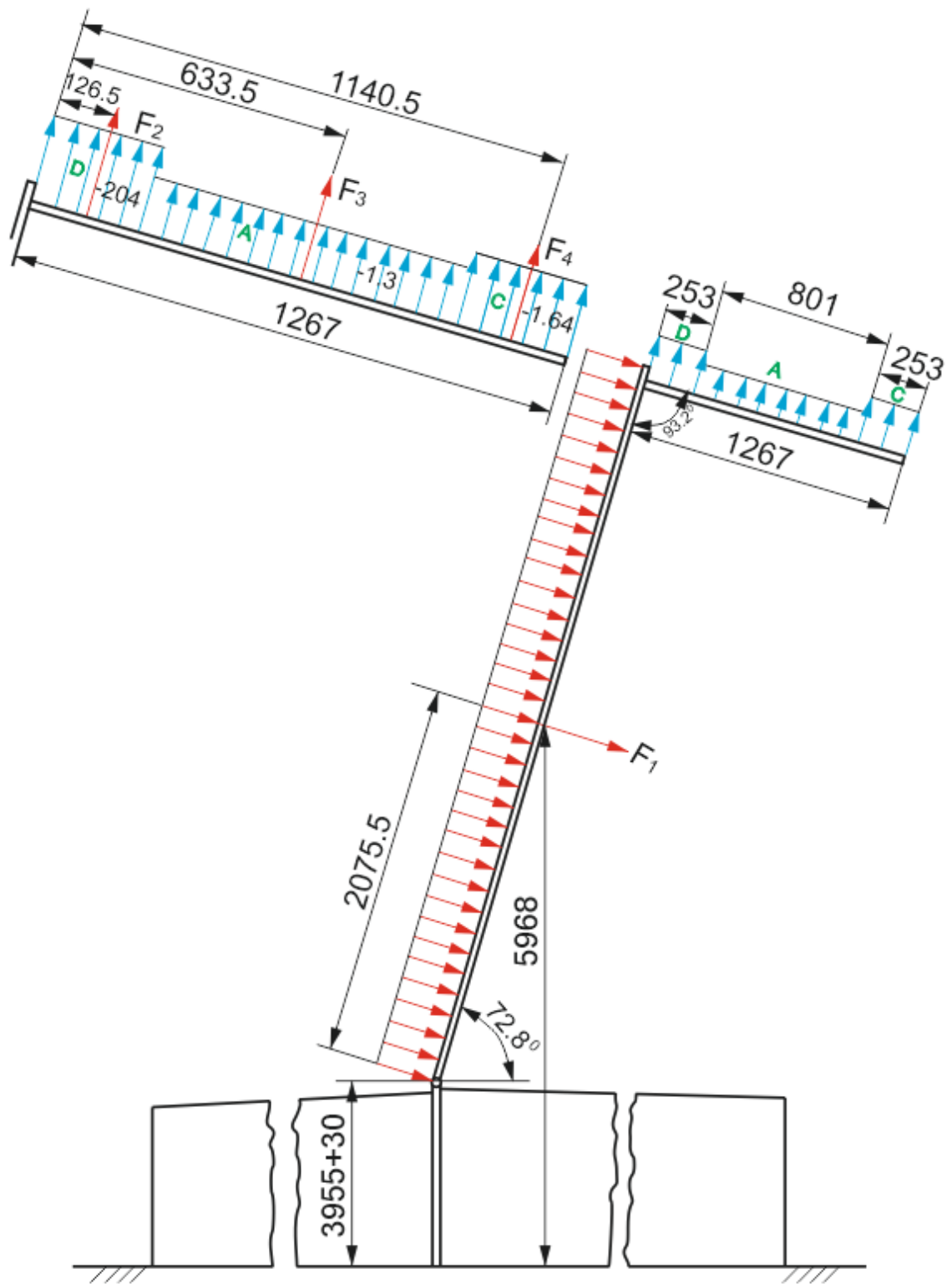
$z_{0,ji}$ - maastikutüübi karedusmõõt 0,05 m (II maastikutüüp) (vt Joonis 7, Lisa 4)

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,ji}} \right)^{0.7} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0.7} = 0,19 \quad (2.30) [2]$$

Luugile mõjuva tuulejõu F_w (F_1, F_2, F_3, F_4) suurus ja visiiri raskusjõud Q_k , luugi kaal Q_l , hüdraulika tungraua F_n .



Joonis 2.4 Jõuväärtused: tuul F_w (F_1, F_2, F_3, F_4), luugi raskuse Q_l ja visiiri raskuse Q_v , hüdraulika tungraua jõud F_n



Joonis 2.5 Katuselugile ja visiirile avaldatava välisrõhu koefitsient C_f ja C_{pe}

Koefitsient $c_r(z)$:

$c_r(z)$ on koefitsient, mis võtab arvesse tuule keskmise kiiruse, $v_m(z)$ varieeruvust konstruktsiooni asukohas sõltuvalt kõrgusest maapinnast ja konstruktsiooni tuulepoolse külje maastiku ebatasasusest arvestades tuulesuunda. Karedustegur:

$$c_r(z_e)_1 = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{5,968}{0,05}\right) = 0,19 \cdot \ln(119,36) = 0,909 \quad (2.31) [2]$$

$$c_r(z_e)_2 = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{7,775}{0,05}\right) = 0,19 \cdot \ln(155,5) = 0,959 \quad (2.32) [2]$$

$$c_r(z_e)_3 = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{7,653}{0,05}\right) = 0,19 \cdot \ln(153,06) = 0,956 \quad (2.33) [2]$$

$$c_r(z_e)_4 = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{7,530}{0,05}\right) = 0,19 \cdot \ln(150,6) = 0,953 \quad (2.34) [2]$$

kus

z_0 - karedusmõõt, m (vastavalt II maastikutüübile $z_0 = 0,05$ m) (vt Joonis 1 7, Lisa 4)

z - kõrgus (vt Joonis 2.4)

k_r - maastikutüübi tegur (vt valimit 2.30)

Keskmine tuule kiirus baaskõrgusel z_e :

$c_0(z)$ orograafiline koefitsient /pinnavormitegur (1,0) (vt Joonis 8, Lisa 5)

$$v_m(z_e)_1 = c_r(z_e)_1 \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,909 \cdot 1 \cdot 19,2 = 17,45 \text{ m/s (vt valimit 2.29, 2.31)} \quad (2.35) [2]$$

$$v_m(z_e)_2 = c_r(z_e)_2 \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,959 \cdot 1 \cdot 19,2 = 18,41 \text{ m/s (vt valimit 2.29, 2.32)} \quad (2.36) [2]$$

$$v_m(z_e)_3 = c_r(z_e)_3 \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,956 \cdot 1 \cdot 19,2 = 18,36 \text{ m/s (vt valimit 2.29, 2.33)} \quad (2.37) [2]$$

$$v_m(z_e)_4 = c_r(z_e)_4 \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,953 \cdot 1 \cdot 19,2 = 18,30 \text{ m/s (vt valimit 2.29, 2.34)} \quad (2.38) [2]$$

Turbulentsi intensiivsus kõrgusel z^e arvutatakse järgmise avaldise abil, kus **KI – turbulentsitegur (1,0):**

$$l_v(z_e)_1 = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{5,968}{0,05}\right)} = \frac{1}{4,782} = 0,2091 \quad (2.39) [2]$$

$$l_v(z_e)_2 = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,775}{0,05}\right)} = \frac{1}{5,047} = 0,1981 \quad (2.40) [2]$$

$$l_v(z_e)_3 = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,653}{0,05}\right)} = \frac{1}{5,031} = 0,1988 \quad (2.41) [2]$$

$$l_v(z_e)_4 = \frac{k_i}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{7,530}{0,05}\right)} = \frac{1}{5,015} = 0,1994 \quad (2.42) [2]$$

Keskmine tuule baaskiirus z_e

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \cdot l_v(z_e)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$$

$$q_p(z_e)_1 = [1 + 7 \cdot 0,2091] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 17,45^2 = 468,9 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{vt valimit 2.35, 2.39})$$

(2.43) [2]

$$q_p(z_e)_2 = [1 + 7 \cdot 0,1981] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,41^2 = 505,8 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{vt valimit 2.36, 2.40})$$

(2.44) [2]

$$q_p(z_e)_3 = [1 + 7 \cdot 0,1988] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,36^2 = 503,9 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{vt valimit 2.37, 2.41})$$

(2.45) [2]

$$q_p(z_e)_4 = [1 + 7 \cdot 0,1994] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 18,30^2 = 501,5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{vt valimit 2.38, 2.42})$$

(2.46) [2]

ρ - õhu tihedus, kg/m³ (1,25 kg/m³).

v_m - tuule kiirus, m/s

Neto rõhukoefitsientide $c_{p,\text{net}}$ väärtused on võetud (vt Joonis 9, Lisa 6) (EN 1991-1-4-2009) [2]:

$c_{p,\text{net}}$ - rõhukoefitsient (välisrõhutegur), mis määratakse tabeli järgi sõltuvalt varikatuse katte kaldenurgast, nurga takistuse astmest ja tuulerõhu määramise tsoonist.

Nurga jaoks $\angle 72,8^\circ$ interpoleerime (vt Joonis 9, Lisa 6)

Nurga jaoks $\angle 14^\circ$ interpoleerime (vt Joonis 9, Lisa 6)

Tsoon

$$A \quad c_p = -1,3 \quad (2.47)$$

$$C \quad c_p = -1,64 \quad (2.48)$$

$$D \quad c_p = -2,04 \quad (2.49)$$

$$c_{p,\text{net}} = 0,77 \quad (2.50)$$

Arvutame jõudude rakenduspunktid:

Lisa 6 - tabelis on kaks varikatuse tibia. Antud projektis üks tiib, siis:

Tsooni D ja C pikkus

$$l = \frac{1}{5} \cdot d = \frac{1}{5} \cdot 1267 = 253 \text{ mm} \quad (\text{vt Joonis 9, Lisa 6, Joonis 2.5})$$

Tsooni A pikkus

$$l = 1267 - 2 \cdot 253 = 761 \text{ mm} \quad (\text{vt Joonis 9, Lisa 6, Joonis 2.5})$$

Konstruksiooni välispindadele mõjuv tuulerõhk arvutatakse valemiga:

$$w = q_p(z_e) \cdot c_{p,\text{net}}$$

kus q_p - kiirusrõhk, kN/m²;

z_e - arvutuskõrgus, m;

$c_{p,\text{net}}$ - välisrõhutegur.

Tuule tugevus määratakse avaldise järgi:

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_0) \cdot A_{ref} \quad [2][5]$$

kus:

$q_p(z_e)$ - tuule rõhu tipp

A_{ref} - konstruktsiooni või konstruktsioonelemendi pindala. $A_{ref} = b \cdot h$ [5]

$c_s c_d$ - ehitustegur

C_f - aerodünaamiline jõu koefitsient (tuule võimsustegur)

Arvutame jõud: F_1, F_2, F_3, F_4 tuulejõu arvutamise põhivalemi muudatused:

$$F_w = c_{p,net} \cdot q_p(z_0) \cdot A_{ref} \quad [2]$$

c_f – sisaldub $q_p(z_0)$

$c_s c_d - c_{p,net}$ - rõhu koefitsient

$$F_{w1} = 0,77 \cdot 468,9 \cdot (4,622 \cdot 4,151) = 6927 \text{ N} = 6,927 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.43, 2.50, Joonis 1, Lisa 1, Joonis 2.8 (4,180 - 0,029 = 4,151 m)}) \quad (2.51) [2]$$

$$F_{w2} = 2,04 \cdot 505,8 \cdot (3,86 \cdot 0,253) = 1008 \text{ N} = 1,008 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.44, 2.49, Joonis 1, Lisa 1, Joonis 2.5 (3,780 + 0,040 + 0,040 = 3,86 m)}) \quad (2.52) [2]$$

$$F_{w3} = 1,3 \cdot 503,9 \cdot (3,86 \cdot 0,801) = 1924 \text{ N} = 1,924 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.45, 2.47, Joonis 1, Lisa 1, Joonis 2.5 (3,780 + 0,040 + 0,040 = 3,86 m)}) \quad (2.53) [2]$$

$$F_{w4} = 1,64 \cdot 501,5 \cdot (3,86 \cdot 0,253) = 803 \text{ N} = 0,803 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.46, 2.48, Joonis 1, Lisa 1, Joonis 2.5 (3,780 + 0,040 + 0,040 = 3,86 m)}) \quad (2.54) [2]$$

Teisendamine njuutonitesse:

Visiiri kogukaal koos voodriga:

$$Q_{\Sigma\text{visiiri}} = 164,84 \cdot 9,81 = 1,617 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.19})$$

Kaevukaane kogumass koos voodriga:

$$Q_{\Sigma I} = 923,82 \cdot 9,81 = 9,063 \text{ kN} \quad (\text{vt valemit 2.13})$$

$$\sum M_A = 0$$

$$126,5 + 34 = 160,5 \text{ mm} = 0,1605 \text{ m}$$

$$633,5 + 34 = 667,5 \text{ mm} = 0,6675 \text{ m}$$

$$1140,5 + 34 = 1174,5 \text{ mm} = 1,1745 \text{ m}$$

$$[F_2 \cdot 0,1605 + (F_3 - Q_{\Sigma K} \cdot \cos 14^\circ) \cdot 0,6675 + F_4 \cdot 1,1745] \cdot \cos 3.2^\circ - (F_1 + Q_{\Sigma L} \cdot \sin 17,2^\circ) \cdot 2,0755 + F_n \cdot 0,814 = 0$$

$$F_n = \frac{1}{0,814} \cdot (6,927 + 9,063 \cdot 0,2957) \cdot 2,0755 - [1,008 \cdot 0,1605 + (1,924 - 1,617 \cdot 0,9703) \cdot 0,6675 + 0,803 \cdot 1,1745] \cdot 0,9984 = 22,85 \text{ kN (vt valemit 2.51, 2.52, 2.53, 2.54)}$$

$$F_n = 22,85 \text{ kN} \quad (2.55)$$

Silinder:

$$F_p = \frac{F_n}{\sin 5^\circ 31'} = \frac{22,85}{0,0961} = 237 \text{ kN} \quad (2.56)$$

Kaks silindrit:

$$F_{p1/2} = \frac{237 \text{ kN}}{2} = 119 \text{ 237 kN} \quad (2.57)$$

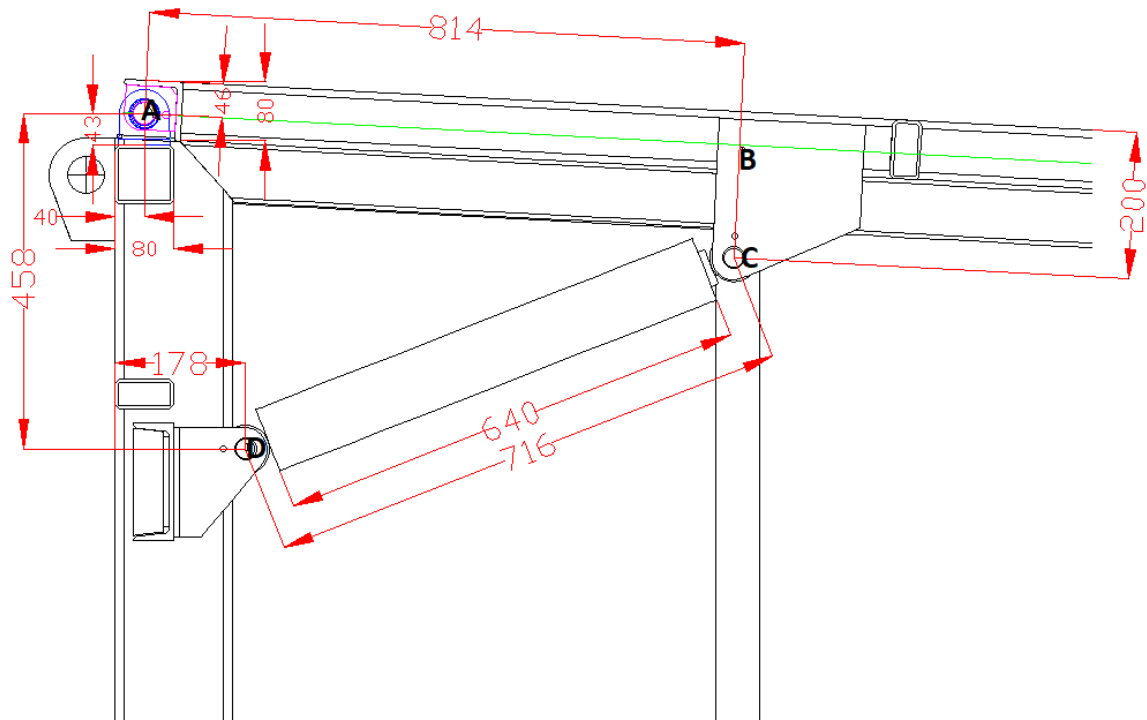
Silindri diameeter:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 119000}{3,14 \cdot 145 \cdot 10^5 \cdot 0,89}} = 108 \text{ mm} \quad (2.58)$$

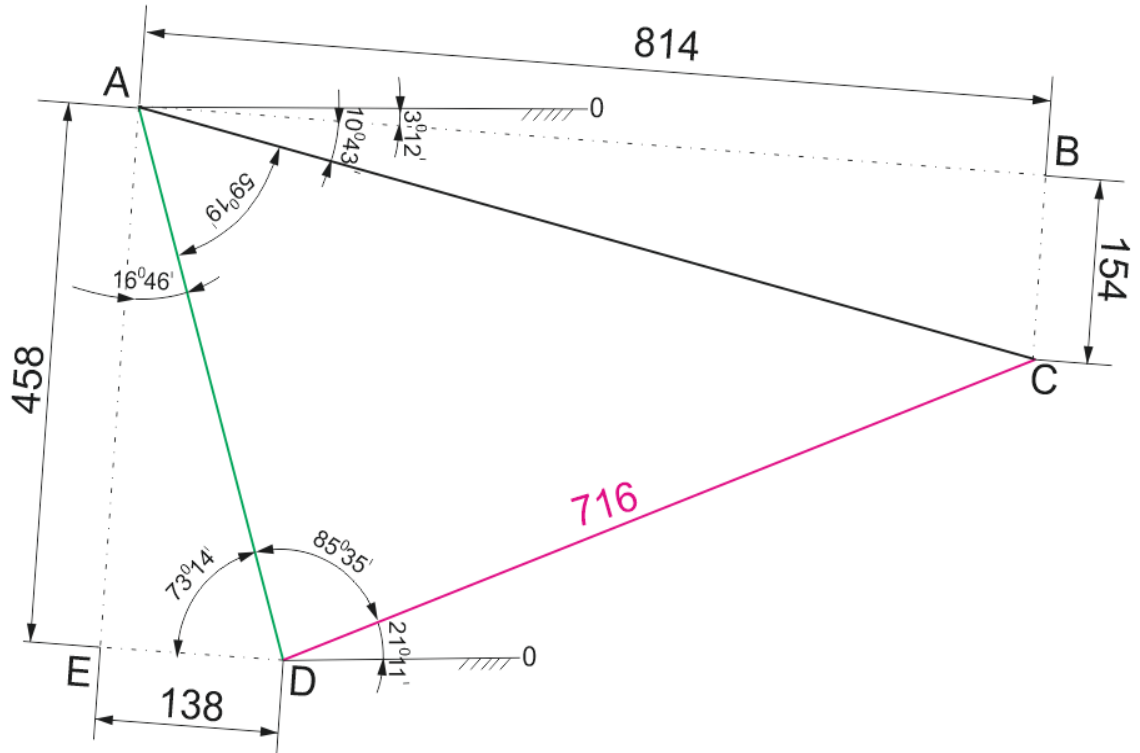
Seejärel tuleks tuule baaskiiruse $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ jaoks võtta silinder läbimõõduga 110 mm. Aga Eesti territooriumil oleva tuulekaardi järgi tuleb arvestada ka ümbritsevate objektidega keskmiseks näitajaks piirkonnas 19 m/s, siis valime silindri läbimõõduks $D = 90 \text{ mm}$.

2.5 Hüdraulika silindrite arvutus

2.5.1 Kolmekraadise nurga arvutamine



Joonis 2.6 Hüdraulilise katuseluugi tõstesõlme külgsuuna 3,2 kraadi juures



Joonis 2.7 Tõstev katuse ja hüdrocilindri lineaarsete mõõtmete ja nurkade skeem asendis 3,2 kraadi

$$\alpha = -3.2^\circ \approx -3^\circ 12'$$

$$AC = \sqrt{814^2 + (200 - 46)^2} = \sqrt{814^2 + 154^2} = \sqrt{686312} = 828,4 \text{ mm (vt Joonis 2.6)}$$

$$(2.59)$$

$$AD = \sqrt{458^2 + (178 - 40)^2} = \sqrt{458^2 + 138^2} = \sqrt{228808} = 478,3 \text{ mm (vt Joonis 2.6)}$$

$$(2.60)$$

$$\tan \beta = \frac{154}{814} = 0,1892 = 10^\circ 43' \text{ (vt Joonis 2.7)}$$

$$\tan \delta = \frac{138}{458} = 0,3013 = 16^\circ 46' \text{ (vt Joonis 2.7)}$$

$$\angle = 90^\circ - \alpha - \beta - \delta = 90^\circ - 3^\circ 12' - 10^\circ 43' - 16^\circ 46' = 59^\circ 19'$$

$$DC = 716 \text{ mm} \quad (2.61)$$

Kolmnurgast ACD leiame nurga ε

$$\angle \varepsilon = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 16^\circ 46' = 73^\circ 14'$$

$$AC = \sqrt{AD^2 + DC^2 - 2 \cdot AD \cdot DC \cdot \cos \varphi} \Rightarrow AC^2 = AD^2 + DC^2 - 2 \cdot AD \cdot DC \cdot \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{AD^2 + DC^2 - AC^2}{2 \cdot AD \cdot DC} = \frac{478,3^2 + 716^2 - 828,4^2}{2 \cdot 478,3 \cdot 716} = 0,0805 \text{ (vt valemit 2.59, 2.60, 2.61)}$$

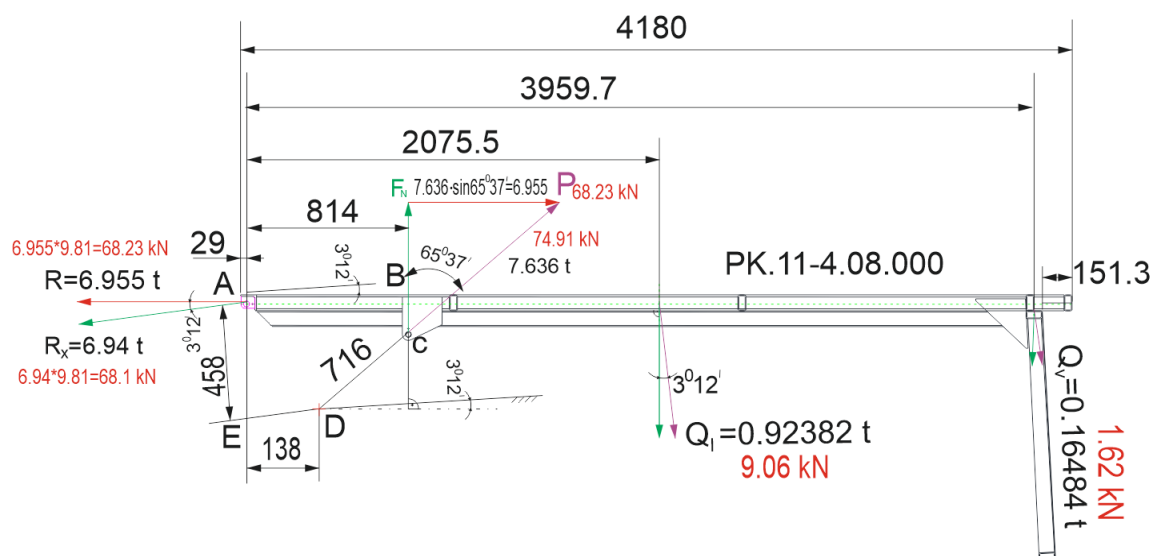
$$\varphi = 85^\circ 35'$$

Siis nurk

$$\omega = 180^\circ - \varepsilon - \varphi = 180^\circ - 73^\circ 14' - 85^\circ 35' = 21^\circ 11'$$

$$\omega = 21^\circ 11' \quad (2.62)$$

Hüdraulilise silindri jõu diagramm



Joonis 2.8 Hüdrocilindri jõupingutuste skeem luugi alumises asendis 3,2 kraadi

$R_x = 6,94$ m tooreaktsioon piki x-telge

$$F_{keskmine} = 6,94 \cdot 9,81 \approx 68,1 \text{ kN} \quad (2.63)$$

$$90^\circ - 21^\circ 11' - 3^\circ 12' = 65^\circ 37'$$

$$\sum M_A = 0$$

$$814 \cdot P \cdot \cos 65^\circ 7' - 2075,5 \cdot Q_A \cdot \cos 3^\circ 12' - 3959,7 \cdot Q_K \cdot \cos 3^\circ 12' = 0$$

$$P = \frac{(2075,5 \cdot Q_A + 3959,7 \cdot Q_K) \cdot \cos 3^\circ 12'}{814 \cdot \cos 65^\circ 37'} = 7636 \text{ kg} = 7,636 \text{ t}$$

$$R = 7,636 \cdot \sin 65^\circ 37' = 6,955 \text{ t}$$

$$R_x = 6,955 \cdot \cos 3^\circ 12' = 6,94 \text{ t} \quad (2.64)$$

2.5.1.1 Silindri parameetrite valik

2.5.1.1.1 Koormuse suurus

$$F_g = m \cdot g = 7636 \cdot 9,81 = 74090,2 \text{ N} \quad (2.65)$$

Kuna projektis on 2 silindrit, siis 1 silindri jaoks

$$F_{g\ 1/2} = \frac{74090,2}{2} = 37455 \text{ N} \quad (2.66)$$

2.5.1.2 Surve valik

(Maksimaalselt 200 baari, tavaliselt võetakse 30% varuga)

$$\text{Aktsepteerin } 145 \text{ bar} = 145 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 145 \cdot 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^2 = p_1$$

2.5.1.3 Silindrile mõjuvad jõud

F_g – koormus, F_H – hõõrdejõud

$$A_1 - \text{pindala} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{kolvi all}$$

$$A_2 - \text{pindala} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} - \text{kolvi kohal}$$

$$\text{survejõud kolvi all } p_1 \cdot A_1 = 145 \text{ bar} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$\text{survejõud kolvile } F_g + F_H = 36753 \text{ N} + F_H$$

või võttes arvesse $\eta = 0,85 = \eta_{hm} = \eta_{hüd}$

$$F_g + F_H = \frac{F_g}{\eta_{hm}} = \frac{F_g}{\eta_{hüd}}$$

kus $\eta_{hm} = \eta_{hüd}$ – hüdropumba kasutegur (0,82 ... 0,97)

$$F_g + F_H = \frac{F_g}{\eta_{hüd}} \quad [4]$$

Siis

$$p_1 \cdot A_1 = F_g + F_H \Rightarrow p_1 \cdot A_1 = \frac{F_g}{\eta_{hüd}} \Rightarrow A_1 = \frac{F_g}{p_1 \cdot \eta_{hüd}}$$

Silindri (kolvi) läbimõõt D mm

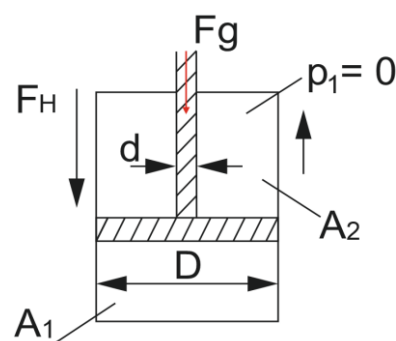
D arvutamiseks asendame $A_1 - \text{pindala} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{kolvi all}$

$$A_1 - \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{F_g}{p_1 \cdot \eta_{hüd}} \Rightarrow D^2 = \frac{4 \cdot F_g}{\pi \cdot p_1 \cdot \eta_{hüd}} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_g}{\pi \cdot p_1 \cdot \eta_{hüd}}}$$

[4]

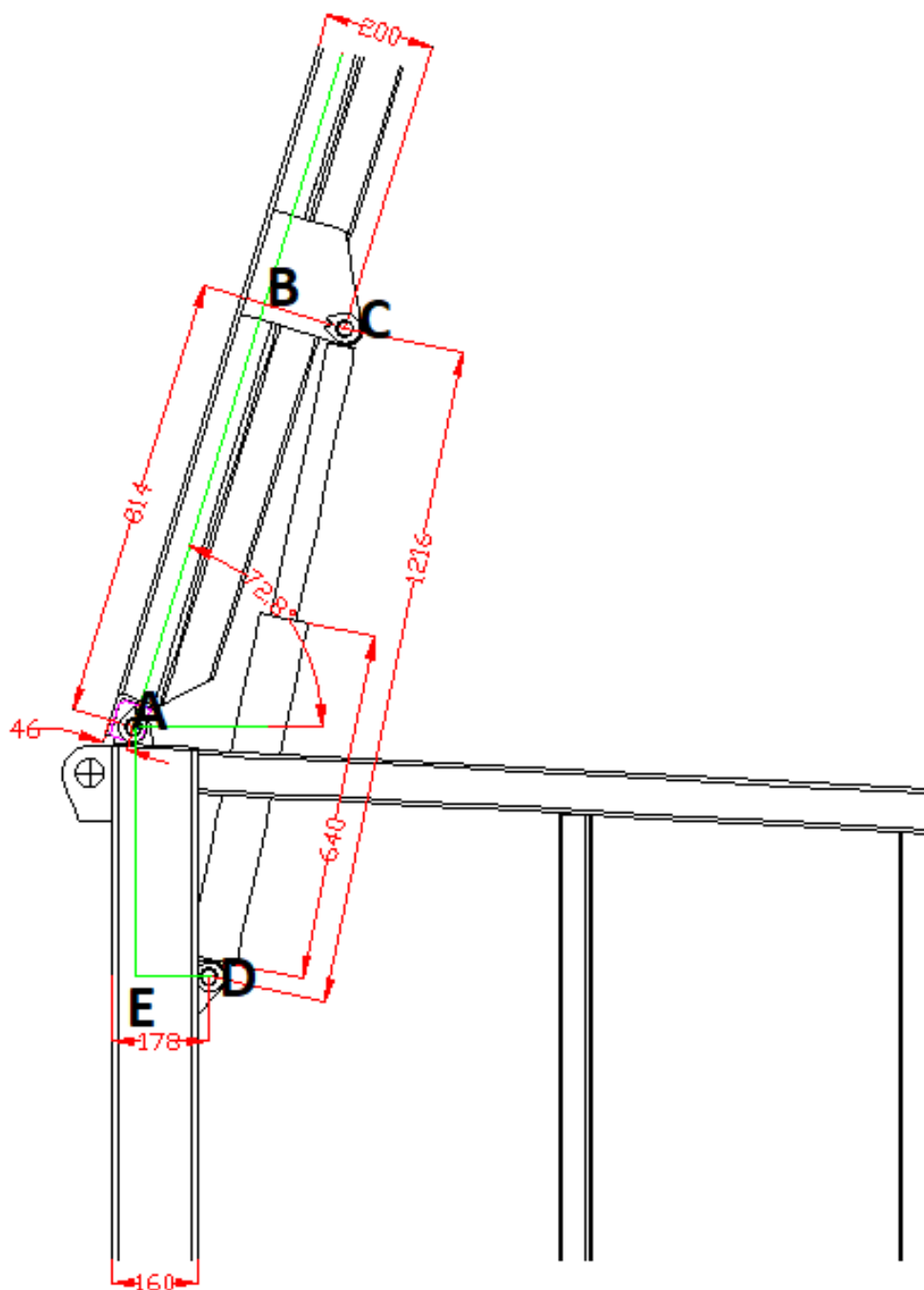
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_g}{\pi \cdot [p_1] \cdot \eta_{hüd}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 37455}{3,14 \cdot 145 \cdot 10^5 \cdot 0,85}} = \sqrt{\frac{149820}{3870}} \cdot 10^{-2} \approx 61,6 \text{ mm} < 63 \text{ mm} \quad (2.67)$$

Aktsepteerime läbimõõdu standardväärtust $D = 63 \text{ mm}$

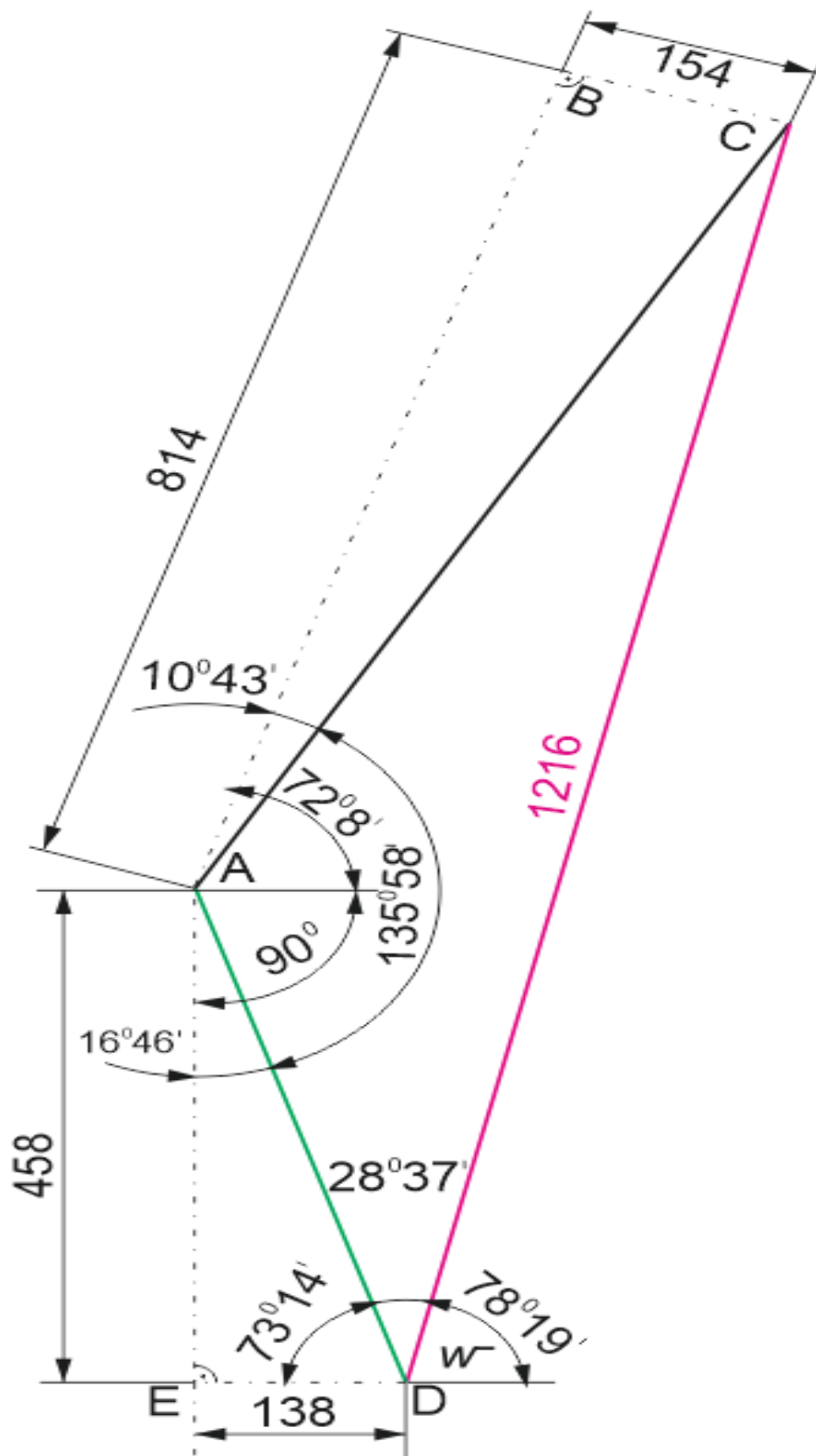


Joonis 2.9 Silindrile mõjuvad jõud

2.5.2 Nurkade arvutamine seitsekümmend kaks kraadi



Joonis 2.10 Hüdraulilise katuseluugi tõstesõlme külgsõlme 72,8 kraadi juures



Joonis 2.11 Tõstev katuse ja hüdrosilindri lineaarsete mõõtmete ja nurkade skeem asendis $72,8$ kraadi

$$AC = \sqrt{814^2 + (200 - 46)^2} = \sqrt{814^2 + 154^2} = \sqrt{686312} = 828,4 \text{ mm} \quad (2.68)$$

$$AD = \sqrt{458^2 + (178 - 40)^2} = \sqrt{458^2 + 138^2} = \sqrt{228808} = 478,3 \text{ mm} \quad (2.69)$$

$$\tan \beta = \frac{154}{814} = 0,1892 = 10^\circ 43' \quad (2.70)$$

$$\tan \delta = \frac{138}{458} = 0,3013 = 16^\circ 46' \quad (2.71)$$

Siis

$$\angle = (90^\circ + 72^\circ 48') - \beta - \delta = 162^\circ 48' - 10^\circ 43' - 16^\circ 46' = 135^\circ 19' \quad (\text{vt valimit 2.70, 2.71, Joonis 2.11})$$

$$DC = 1216 \text{ mm}$$

Kolmnurgast AED leiame nurga ε

$$\angle \varepsilon = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 16^\circ 46' = 73^\circ 14'$$

$$AC = \sqrt{AD^2 + DC^2 - 2 \cdot AD \cdot DC \cdot \cos \varphi} \Rightarrow AC^2 = AD^2 + DC^2 - 2 \cdot AD \cdot DC \cdot \cos \varphi$$

$$\cos \varphi = \frac{AD^2 + DC^2 - AC^2}{2 \cdot AD \cdot DC} = \frac{478,3^2 + 1216^2 - 828,4^2}{2 \cdot 478,3 \cdot 1216} = 0,8779 \quad (\text{vt valemit 2.68, 2.69, Joonis 2.11}) \quad (2.72)$$

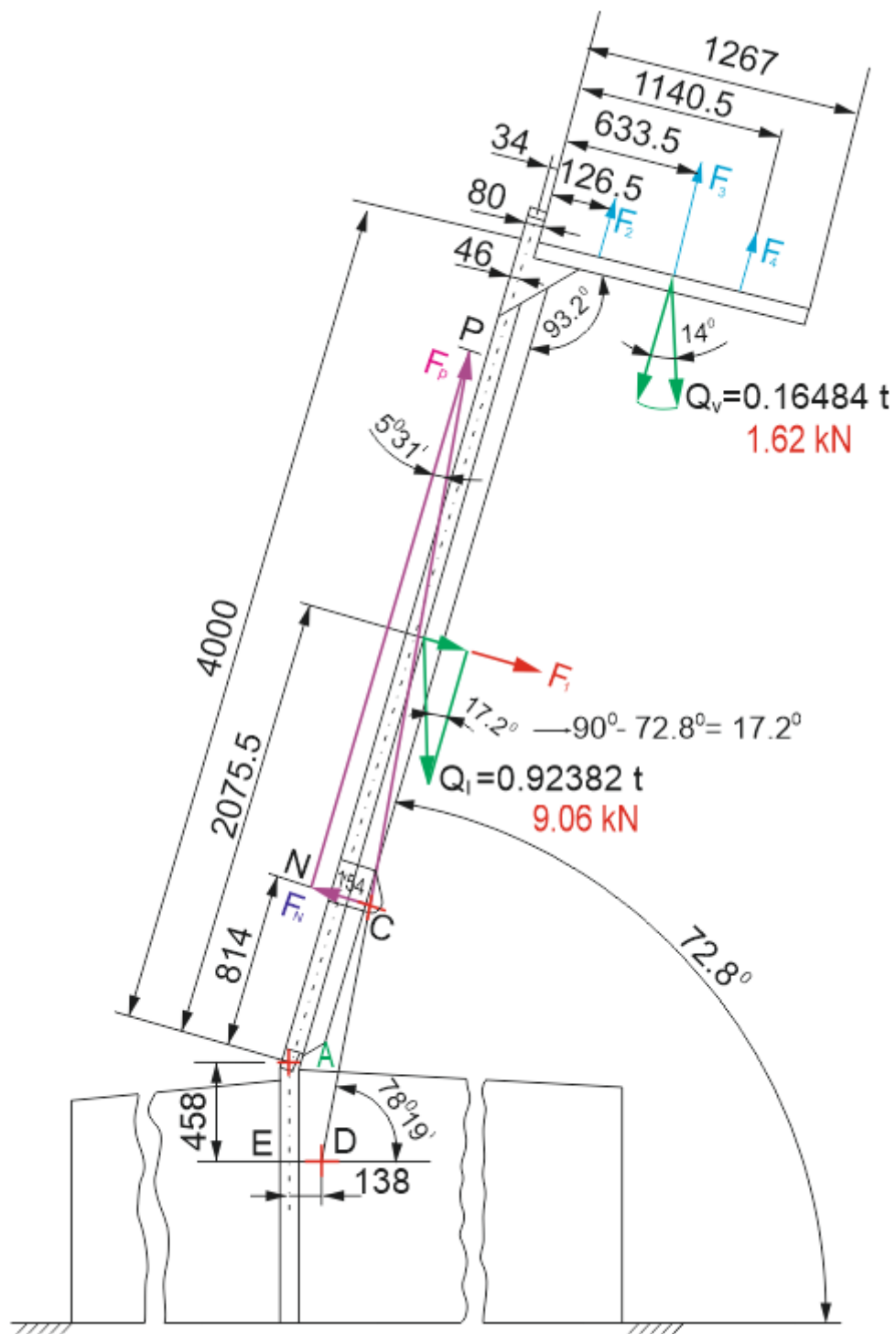
$$\varphi = 28^\circ 37' \quad (2.73)$$

Siis nurk

$$\omega = 180^\circ - \varepsilon - \varphi = 180^\circ - 73^\circ 14' - 28^\circ 37' = 101^\circ 51' = 78^\circ 9'$$

$$\omega = 78,15^\circ \quad (2.74)$$

Hüdraulilise silindri jõu diagramm



Joonis 2.12 Hüdraulilise silindri jõu diagramm

Hüdrosilindri jõudude arvutamine

Õlg Q jõu jaoks

$$L_Q = \frac{1267}{2} = 633,5 \text{ mm (vt Joonis 2.5)} \quad (2.75)$$

$$L_A = 80 - 46 = 34 \text{ mm (vt Joonis 2.6)} \quad (2.76)$$

$$Q = L_Q + L_A = 633,5 + 34 = 667,5 \text{ mm}$$

Varikatuse kogumass koos voodriga (vt Lisa 1, Joonis 1, Joonis 2, 2.15, 2.18):

$$Q_{\Sigma\text{visiiri}} = 74,96 + 55,15 + 6,72 + 26,65 = 164,84 \text{ kg} \quad (2.19)$$

Kaevukaane kogukaal koos mantliga:

$$Q_{\Sigma\text{luugi}} = 385,72 + 538,2 = 923,82 \text{ kg (vt valimit 2.11, 2.12)} \quad (2.13)$$

$$\sum M_A = 0$$

$$Q_{\Sigma\text{visiiri}} \cdot 0,6675 \cdot \cos 14^\circ + Q_{\Sigma\text{luugi}} \cdot 2,0755 \cdot \sin 17,2^\circ - F_n \cdot 0,814 = 0$$

$$F_n = \frac{1}{0,814} \cdot (Q_{\Sigma\text{visiiri}} \cdot 0,6675 \cdot \cos 14^\circ + Q_{\Sigma\text{luugi}} \cdot 2,0755 \cdot \sin 17,2^\circ) = \frac{673,73}{0,814} =$$

$$827,7 \text{ kg (vt Joonis 2.12, valemit 2.19, 2.13):} \quad (2.77)$$

$$\text{Nurk } \angle \text{NPC, mis on võrdne: } \angle \text{NPC} = 78^\circ 19' - 72^\circ 48' = 5^\circ 31' \quad (2.78)$$

$$F_p = \frac{F_n}{\sin 5^\circ 31'} = \frac{827,7}{0,0961} = 8613 \text{ kg} = 8,613 \text{ t (vt valemit 2.77, 2.78)} \quad (2.79)$$

Raskusjõud:

$$F_g = m \cdot g = 8613 \cdot 9,81 = 84493,5 \text{ N}$$

Kuna projektis on 2 silindrit, siis 1 silindri jaoks

$$F_{g\ 1/2} = \frac{84493,5}{2} = 42246,75 \text{ N}$$

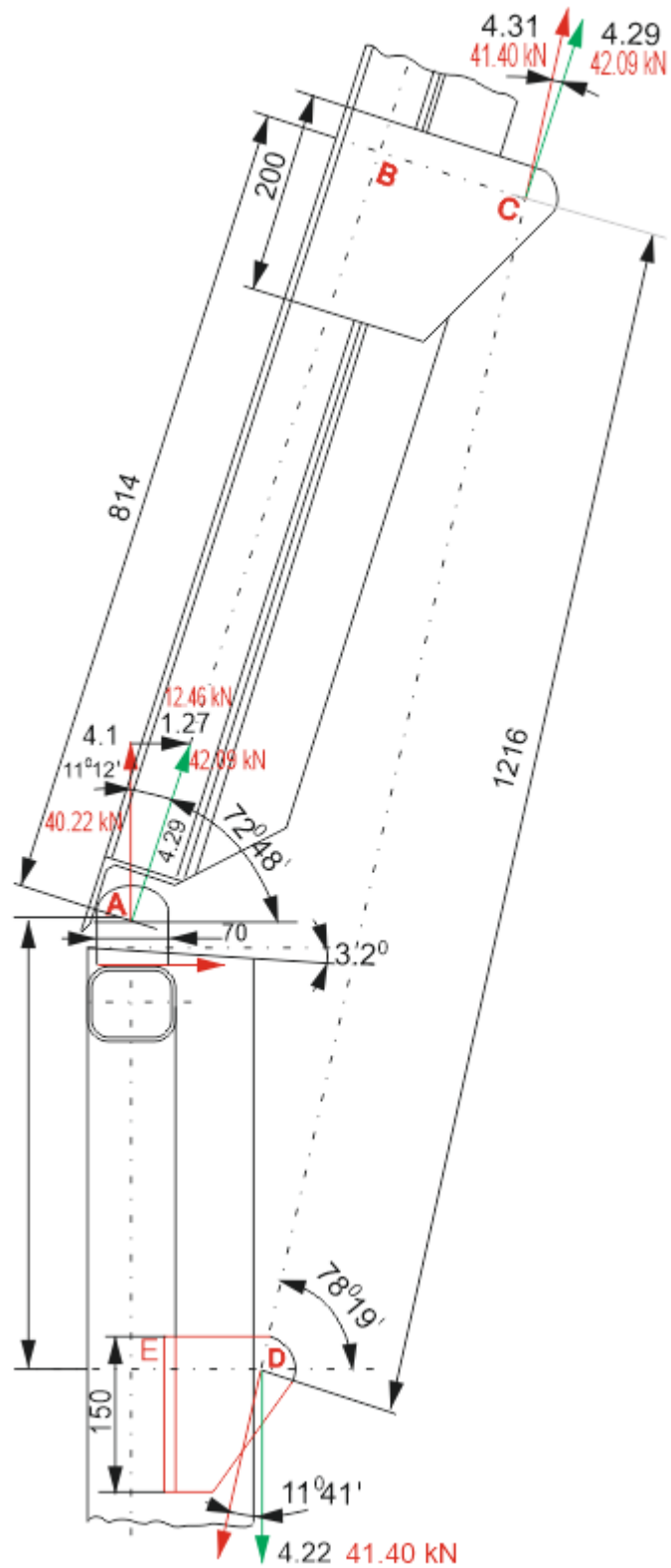
kus silindri (kolvi) läbimõõt D mm

D arvutamiseks asendame $A_1 - \text{pindala} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} - \text{kolvi all}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_g}{\pi \cdot [\sigma] \cdot \eta_{hüd}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 42246,75}{3,14 \cdot 145 \cdot 10^5 \cdot 0,85}} = \sqrt{\frac{168\ 987}{3870}} \cdot 10^{-2} = 66,1 \text{ mm} < 70 \text{ mm} \quad (2.80)$$

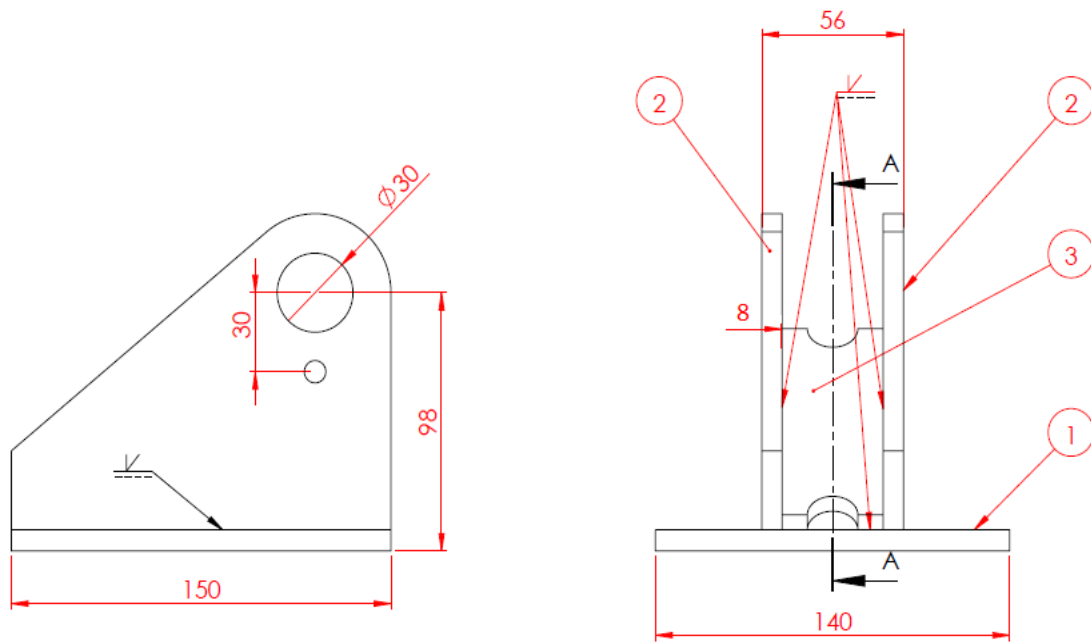
Aktsepteerime läbimõõdu $D = 70 \text{ mm}$ standardväärtust

2.6 Hüdrosilindri aasade arvutus



Joonis 2.13 Ülemises asendis olevatele kõrvadele mõjuvate jõudude skeem

2.6.1 Hüdrosilindri alumiste kõrvade arvutamine



Joonis 2.14 Keevisõmbluste arvutamine joonise PK11-4.10.000 põhjal

Konstruksioonelementide materjal - teras S235.

Leiame lubatud tõmbepinge

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{s} = \frac{235}{1,5} \approx 157 \text{ MPa} \quad [6]$$

kus $[s]$ on lubatud tugevuse varutegur. Masinaehituses on erinevate osade tugevuse varutegur vahemikus 1,5 ... 2,5 (teras, alumiiniumi, titaani, magneesiumi ja vase sulamid), malmi puhul - 4 ... 6, puidu puhul - 8 ... 10.

Keevisõmbluste lubatud nihkepinge on:

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 157 \approx 94 \text{ MPa}$$

Valime õmbluste kaatet $k = \delta = 8 \text{ mm}$. Õmbluste tugevusestingimusest lõikele leiame pikkused l - küljeõmbluste (õmbluste kogupikkus). Arvestades, et keevitused on mõlematel pooltelt, jagame kogujõud kahega.

Keevisõmbluste tugevustingimus:

$$\tau_{cp} = \frac{F_{cp}}{A_{cp}} = \frac{F_{cp}}{0,7 \cdot k \cdot 2 \cdot l} \leq [\tau_{cp}] \quad [6]$$

$$F_p = 8,613 \text{ t (vt valemit 2.79)}$$

$$F_{p_{1/2}} = \frac{8,613}{2} = 4,31 \text{ t} \quad (2.81)$$

$$4,31 \cdot \cos 11^\circ 41' = 4,22 \text{ t} \quad (2.82)$$

$$F = 4,22 \cdot 9,81 = 41,3982 \text{ N} \quad (2.83)$$

kust õmbluse pikkus on võrdne:

$$l = \frac{F}{0,7 \cdot 2 \cdot k \cdot [\tau]} = \frac{41,4 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 94 \cdot 10^6} = \frac{41400}{1052,8} \approx 39 \text{ mm} \quad (2.84)$$

Lehe tõmbetugevuse tingimus on:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_p} \leq [\sigma] \quad [6]$$

F - sisemised pikisuunalised jõud

A_p - vastav ristlõikepindala

$[\sigma]$ - lubatud pinged

kus lehe ristlõikepindala on:

$$A_p = b \cdot \delta = 150 \cdot 8 = 1200 \text{ mm}^2 \quad (2.85)$$

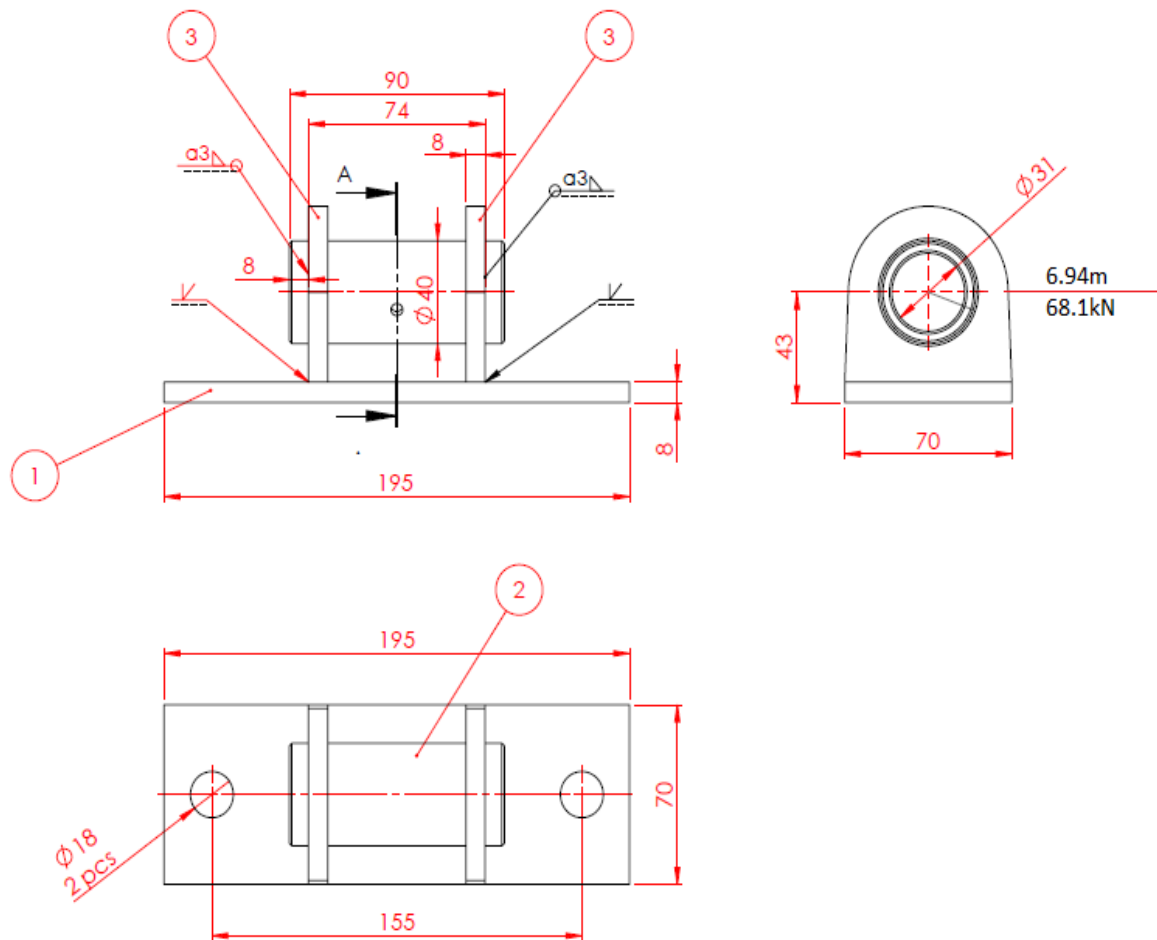
$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_p} = \frac{F}{b \cdot \delta} = \frac{41,4 \cdot 10^3}{1200} = \frac{41400}{1200} = 34,5 \text{ MPa} \quad (2.86)$$

$$\sigma_{max} = 34,5 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 157 \text{ MPa} \quad (2.87)$$

- kui $\sigma_{max} \leq [\sigma]$ tugevustingimus on rahuldatud
- kui $\sigma_{max} > [\sigma]$ tugevustingimus ei ole täidetud.

Järeldus: kasutame keevisõmblus kaatetiga $k = 8 \text{ mm}$ ja pikkusega $l = 39 \text{ mm}$

2.6.2 Luugi aasade arvutamine



Joonis 2.15 Keevitusõmbluste arvutamise joonise PK11-4.09.000 põhjal

Konstruksioonelementide materjal - teras S235.

Leiame lubatud tõmbepinget

$$[\sigma] = \frac{R_{eH}}{s} = \frac{235}{1,5} \approx 157 \text{ MPa} \quad [6]$$

kus [s] on lubatud tugevuse varutegur.

Keevisõmbluste lubatud nihkepinge on:

$$[\tau] = 0,6 \cdot [\sigma] = 0,6 \cdot 157 \approx 94 \text{ MPa}$$

Valime õmbluste kaatet $k = \delta = 8 \text{ mm}$ mm. Õmbluste tugevustingimusest lõikele leiame pikkused l - küljeõmblusted (õmbluste kogupikkus). Arvestades, et keevitused on mõlematel pooltelt, jagame kogujõud kahega.

Keevisõmbluste tugevustingimus:

$$\tau_{kesk} = \frac{F_{kesk}}{A_{kesk}} = \frac{F_{kesk}}{0,7 \cdot k \cdot 2 \cdot l} \leq [\tau_{cp}] \quad [6]$$

$$F_{kesk} = 6,9 \cdot 9,81 = 68,1 \text{ kN} \quad (2.88)$$

kust õmbluse pikkus on võrdne:

$$l = \frac{F}{0,7 \cdot 2 \cdot k \cdot [\tau]} = \frac{68,1 \cdot 10^3}{0,7 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 94 \cdot 10^6} = \frac{68100}{1052,8} \approx 64,7 \text{ mm} \quad (2.89)$$

Lehe tõmbetugevuse tingimus on:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_p} \leq [\sigma] \quad [6]$$

F - sisemised pikisuunalised jõud

A_p - vastav ristlõikepindala

$[\sigma]$ - lubatud pinged

kus lehe ristlõikepindala on:

$$A_p = b \cdot \delta = 70 \cdot 8 = 560 \text{ mm}^2.$$

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A_p} = \frac{F}{b \cdot \delta} = \frac{68,1 \cdot 10^3}{560} = \frac{68100}{560} = 121,6 \text{ MPa} \quad (2.90)$$

$$\sigma_{max} = 121,6 \text{ MPa} \leq [\sigma] = 157 \text{ MPa} \quad (2.91)$$

- kui $\sigma_{max} \leq [\sigma]$ tugevustingimus on rahuldatud
- kui $\sigma_{max} > [\sigma]$ tugevustingimus ei ole täidetud.

Järeldus: kasutame keevisõmblus kaatetiga $k = 8 \text{ mm}$ ja pikkusega $l = 64,7 \text{ mm}$

MAJANDUSLIK OSA

Minikatlamaja tasuvuse arvutamisel on äärmiselt oluline võtta arvesse kõiki kulusid, mida omanik selle käitamise käigus kannab.

Kahjuks ei anna kõik minikatlamajade ehitust pakkuvad ettevõtted tulevastele omanikele täielikku ja ajakohast teavet edasise hoolduse maksumuse kohta, mõnikord lihtsalt seda teavet omamata.

Lõpliku maksumuse arvutamisel tuleb arvesse võtta mitte tootja teoreetilisi hindu, vaid varuosade tegelikku maksumust, võttes arvesse nende transpordi- ja hoolduskulusid.

BioMobitek pakub klientidele oma kateltele garanteeritud hooldust ja kõik need kulud on juba hinna sees.

Kuna projektid on individuaalsed, siis katelde paigalduse maksumus on erinev ja arvestatakse igale kliendile eraldi. Ja see teave on ärisaladus.

Kuid ettevõtte aastatepikkuse kogemuse käigus ning energiaressursside hinnatõusu arvestades on sellistel katlajaamadel kiire tasuvus. Selle tulemusena on need muutumas turul üha populaarsemaks tooteks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärk oli koostada joonised ja arvutada kõrgelt avaneva tõstetava hüdroluugi koormus kütusehoidlaga moodulmahutile.

Arvutused on näidanud, et luugi hüdrosilindrid ja silindrikinnitus peavad tuule- ja lumekoormust arvesse võttes vastu luugi raskusele.

Projekti kallal töötamise käigus jõudis autor järeldusele, et hoiuruumiga moodulkonteineri kõrge avanemisega tõstetava hüdraulilise luugi eeliseks on see, et seda saab tõhusalt laadida erinevat tüüpi, puiste- ja mittegabariidiliste veostega, kasutades erinevaid transpordiliike: kopp-frontaallaadurid, kallurautod, kaabitsakonveierid. Sellest tulenevalt biokütuse konteineri hoidlasse mahalaadimise protsessi kiirendamine, mis võimaldab säästa diislikütust ja biokütuse mahalaadimise aega.

Kõik kõrgelt avaneva tõste-hüdraulilise luugi arvutuste ja projekteerimisega seotud inseneritööd lõpetati 30 tööpäeva jooksul.

SUMMARY

This thesis aimed to design the drawings and calculate the load of the high opening lifting hydraulic hatch for a modular container with fuel storage.

The calculations have shown that the hydraulic cylinders and cylinder mounting of the hatch withstand the weight of the hatch, taking into account wind and snow loads.

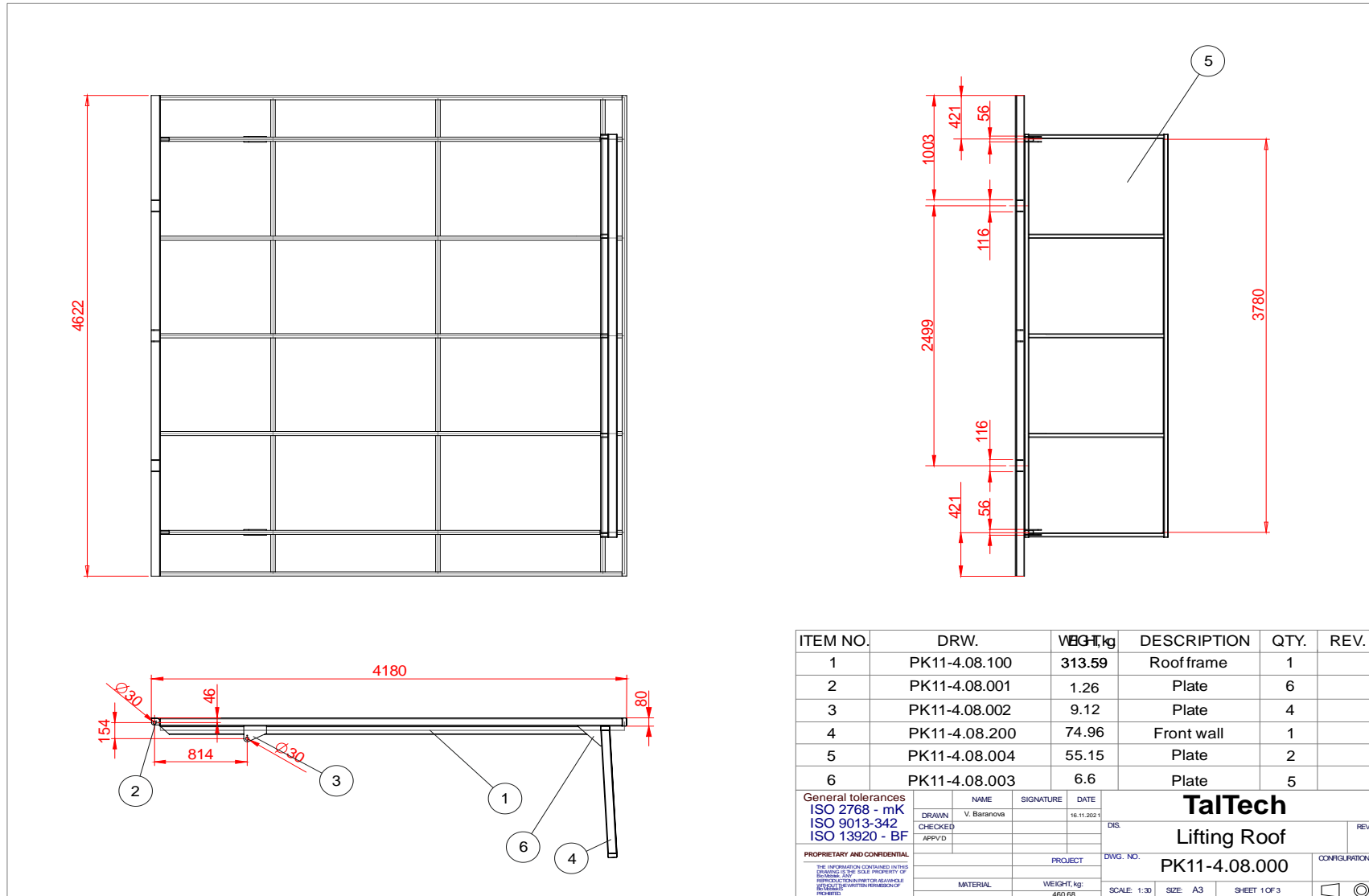
During the work on the project, the author concluded that the advantage of the high opening lifting hydraulic hatch for a modular container with storage is that it can be efficiently loaded with various, bulk and oversized types of cargo, using different modes of transport: bucket front loaders, tipper trucks, scraper conveyors. Consequently, speeding up the process of unloading biofuel into the container's storage, enabling saving of diesel fuel and the biofuel unloading time.

All engineering works related to the calculations and design of the high opening lifting hydraulic hatch were completed within 30 working days.

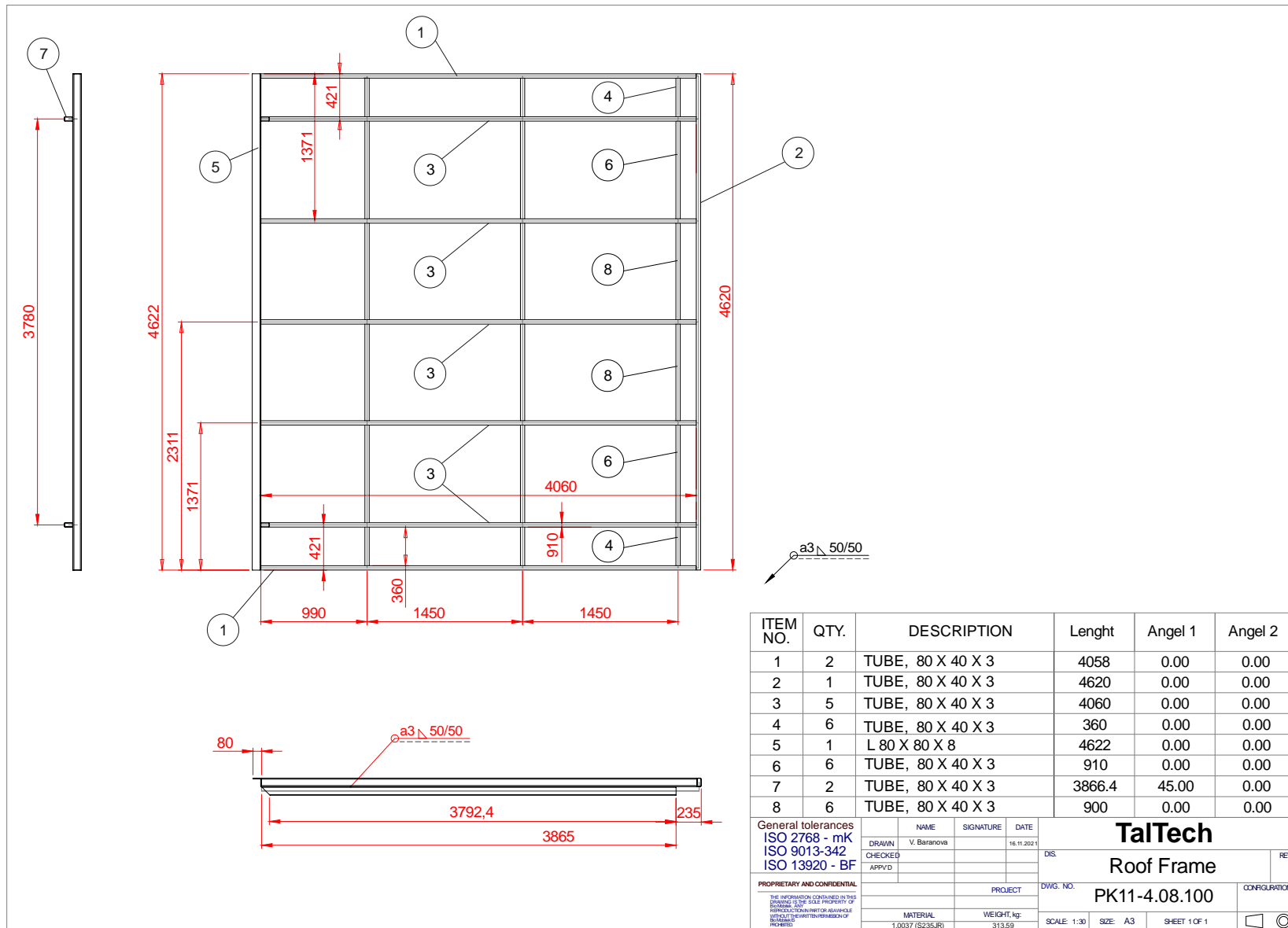
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. EVS EN 1991-1-3:2006 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide koormused
Osa 1-3: Üldkoormused. Lumekoormus
2. EVS EN 1991-1-4:2005+NA:2007 Eurokoodeks 1: Ehituskonstruksioonide
koorm
3. [WWW] <https://www.ehituseabc.ee/ru/vineer-detail-12x2500x625>(17.05.2022)
4. Gennadi Arjassov. RAE0900 Hüdro- ja pneumoajam. Loeng 6, Hüdropumpade
tööparameetrid. <https://moodle.taltech.ee/course/view.php?id=30147>
(18.05.2022)
5. Igor Penkov. RAE0710 Toste- ja edastusmasinad. 5 Arvutuslikud koormused.
6. Gennadi Arjassov. RAE0351 Masinaelemendid, KT 1. Ülesanne 2.

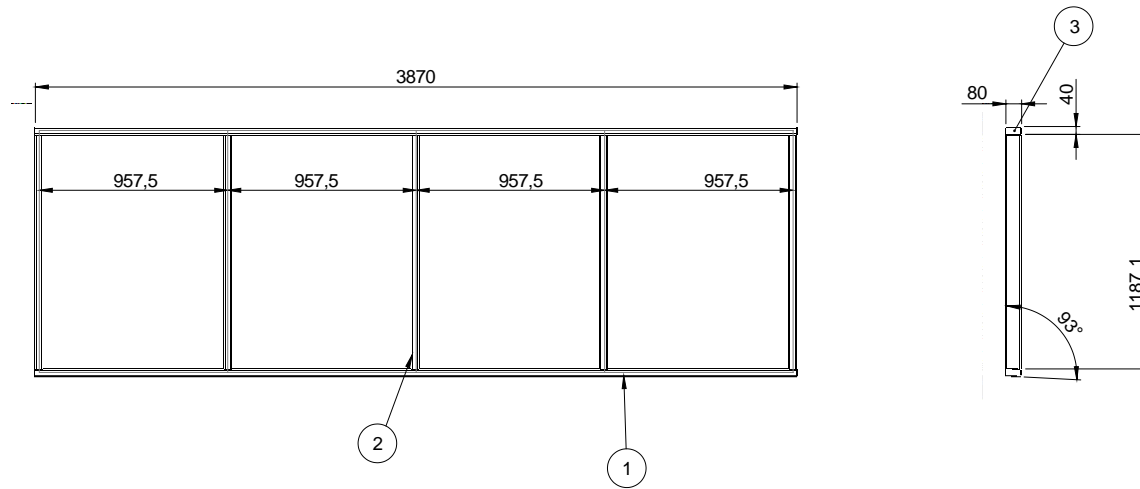
LISA 1



Joonis 1 PK11-4.08.000



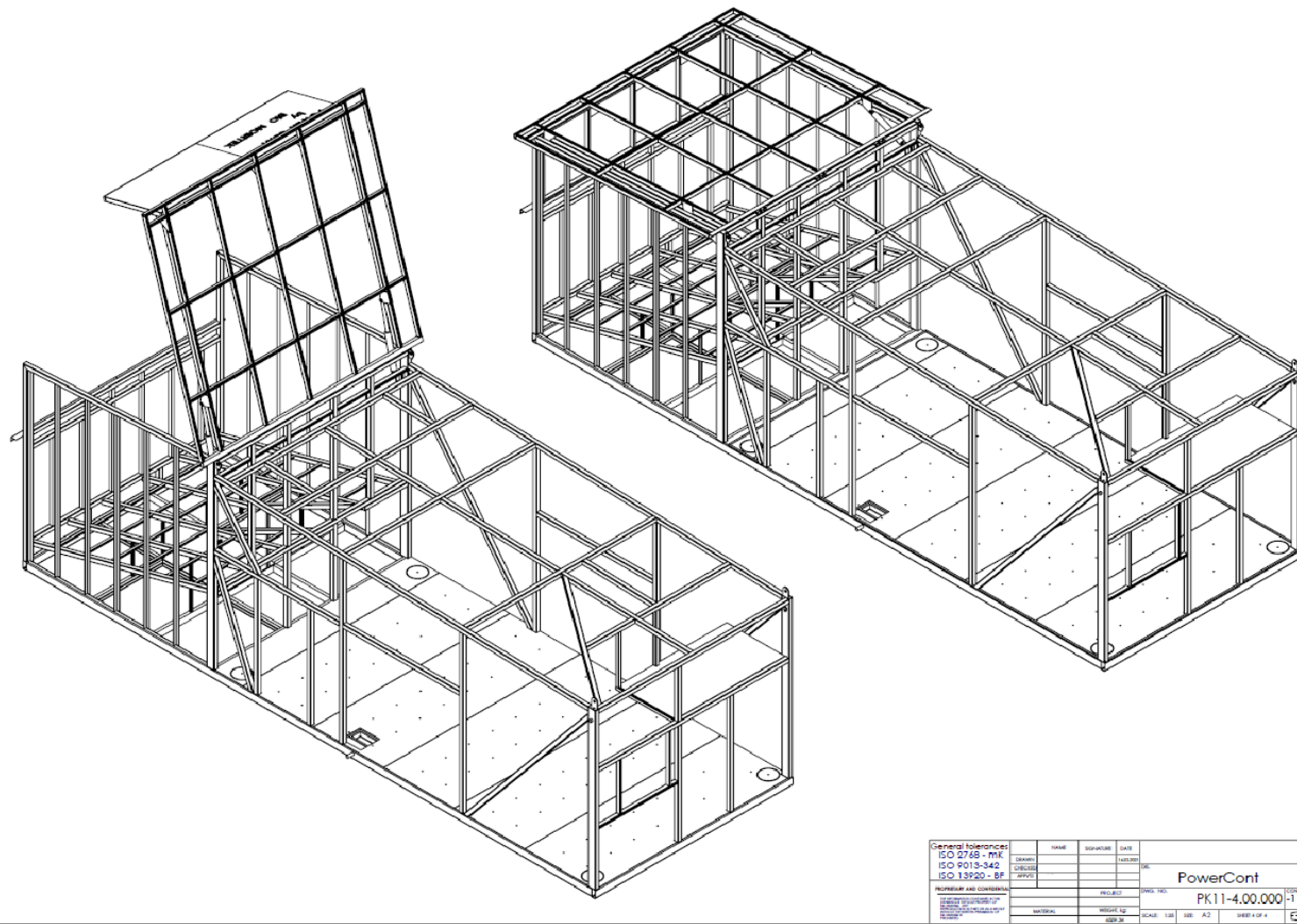
Joonis 2 PK11-4.08.100



ITEM NO.	QTY.	DESCRIPTION	Lenght	Angel 1	Angel 2
1	2	80 x 40 x 3.2	3870	0.00	0.00
2	5	80 x 40 x 3.2	1204	0.00	0.00
3	4	Plate S4 40 x 80			

General tolerances ISO 2768 - mK ISO 9013-342 ISO 13920 - BF		NAME V. Baranova	SIGNATURE	DATE 16.11.2021	TalTech Front Wall	REV.
DRAWN	CHECKED	APPR'D		DIS.		
PROJECT				DWG. NO. PK11-4.08.200		CONFIGURATION
<small>PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL</small> <small>THE INFORMATION CONTAINED HEREIN IS UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE</small> <small>UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE</small> <small>UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE</small> <small>UNCLASSIFIED EXCEPT WHERE SHOWN OTHERWISE</small>		MATERIAL 1.0037 (S235JR)	WEIGHT, kg 74.96	SCALE: 1:20	SIZE: A3	SHEET 1 OF 1

Joonis 3 PK11-4.08.200



Joonis 4 PK11-4.00.000-1

LISA 2

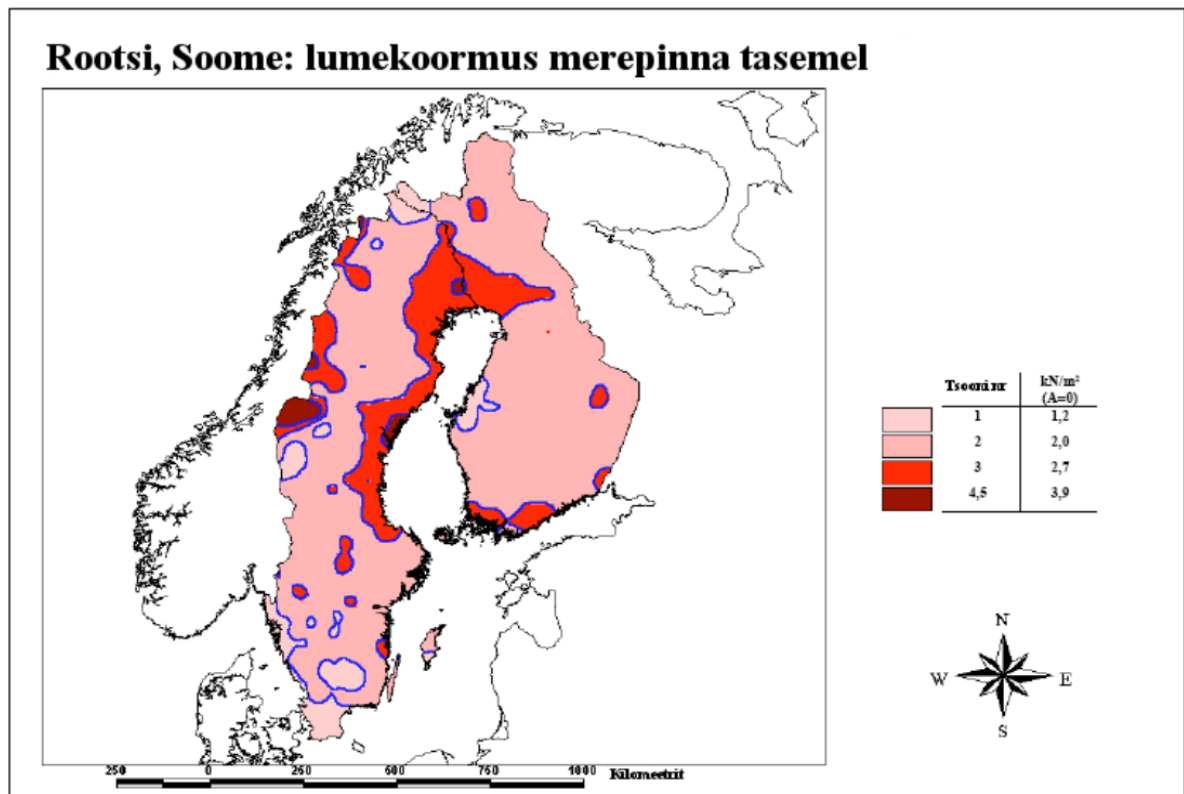
Таблица С.1 — Зависимость между высотным положением местности и снеговыми нагрузками

Климатический регион	Расчетное требование
Альпийский регион	$s_k = (0,642Z + 0,009) \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$
Центральный восток	$s_k = (0,264Z - 0,002) \left[1 + \left(\frac{A}{256} \right)^2 \right]$
Греция	$s_k = (0,420Z - 0,030) \left[1 + \left(\frac{A}{917} \right)^2 \right]$
Испанский полуостров	$s_k = (0,190Z - 0,095) \left[1 + 524^2 \right]$
Средиземноморский регион	$s_k = (0,498Z - 0,209) \left[1 + \left(\frac{A}{452} \right)^2 \right]$
Центральный запад	$s_k = 0,164Z - 0,082 + \frac{A}{966}$
Швеция/ Финляндия	$s_k = 0,790Z - 0,375 + \frac{A}{336}$
Великобритания, Ирландия	$s_k = 0,140Z - 0,1 + \frac{A}{501}$

- s_k — нормативное значение снеговой нагрузки на грунт, кН/м²;
 A — высота местности над уровнем моря;
 Z — номер зоны, указанной на карте.

Joonis 1 Maastiku kõrgusasendi ja lumekoormuste seoste tabeli joonis

LISA 3



Joonis 1 Standardist (EVS-EN 1991-1-3:2006/AC:2009 Joonis C.8)

LISA 4

Таблица 4.1 — Типы местности и параметры шероховатости

Тип местности	Z_0 , м	Z_{min} , м
0 Моря или открытые побережья морей	0,003	1
I Озера или плоская местность с незначительной растительностью без преград	0,01	1
II Открытая местность с низкой, как трава растительностью и изолированными отдельно стоящими преградами (деревьями, зданиями), расстояние между которыми составляет как минимум 20-кратное значение их высот	0,05	2
III Местность с равномерной растительностью или зданиями или преградами, расстояние между которыми не превышает 20-кратного значения их высот (деревни, пригородные зоны, протяженные лесные массивы)	0,3	5
IV Территории, в пределах которых, по крайней мере, 15 % поверхности покрыто зданиями, высота которых превышает 15 м	1,0	10
<i>Примечание</i> — Типы местности проиллюстрированы в приложении А.1.		

Joonis 1 Maastikutüüpide ja kareduse parameetrite tabeli joonis

LISA 5

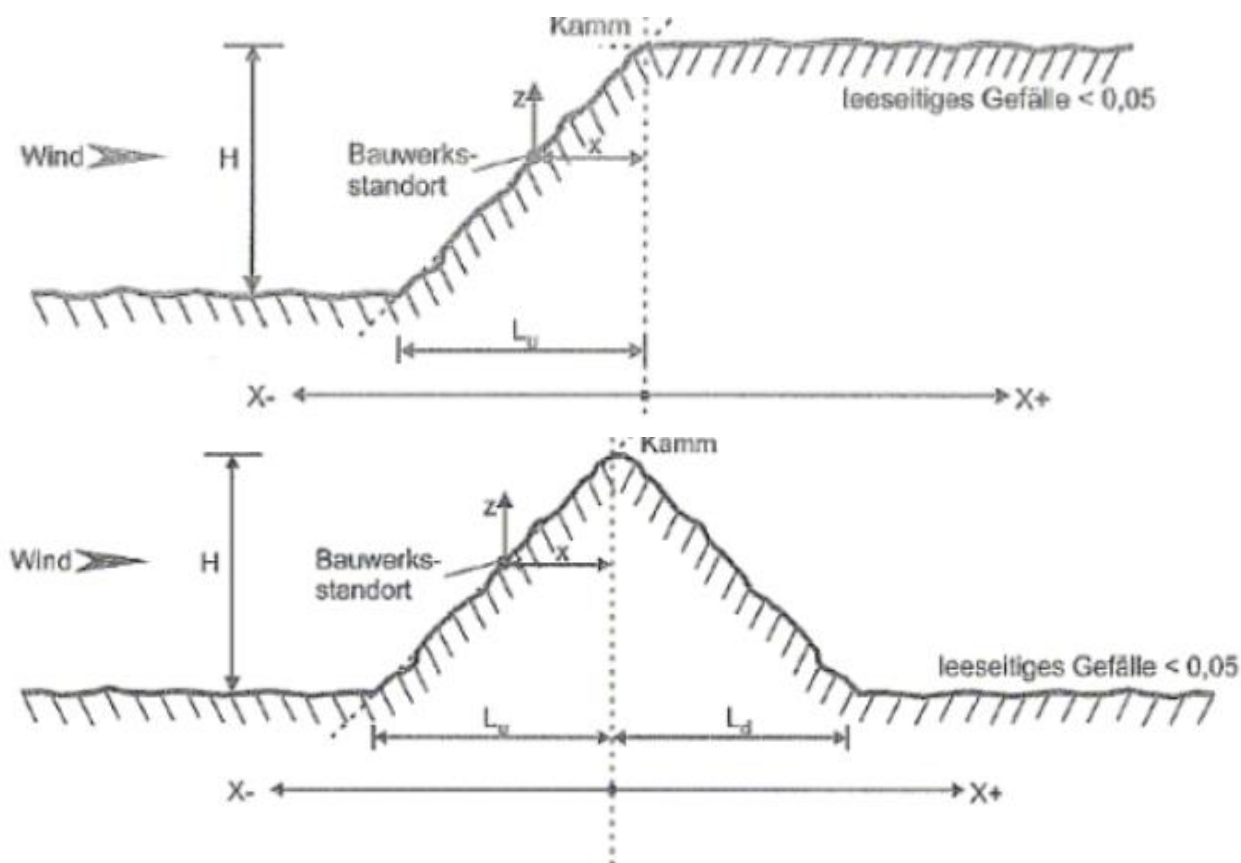
$$c_o = 1 \quad \text{для } \Phi < 0,5; \quad (\text{A.1})$$

$$c_o = 1 + 2s\Phi \quad \text{для } 0,05 < \Phi < 0,3; \quad (\text{A.2})$$

$$c_o = 1 + 0,6s \quad \text{для } \Phi > 0,3, \quad (\text{A.3})$$

где s — локальный орографический коэффициент по рисунку А.2 или А.3 относительно эффективной длины L_w проекции подветренной стороны;

Φ — уклон по нормали к направлению действия ветра (см. рисунки А.2 и А.3);



Joonis 1 lokaalne orograafiline koefitsient

LISA 6

Таблица 7.5 — Коэффициенты внешнего давления для вальмовых покрытий

Угол уклона α_0 для $\theta = 0^\circ$, α_{90} для $\theta = 90^\circ$	Зона направления набегающего потока $\theta = 0^\circ$ и $\theta = 90^\circ$																	
	F		G		H		I		J		K		L		M		N	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,6		-0,6		-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,4	
	+0,0		+0,0		+0,0													
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,5		-1,0	-1,5	-1,2	-2,0	-1,4	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3	
	+0,2		+0,2		+0,2													
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,7	-1,2	-0,5		-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,5		+0,7		+0,4													
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,3		-0,6		-0,3		-1,3	-2,0	-0,8	-1,2	-0,2	
	+0,7		+0,7		+0,6													
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,3		-0,6		-0,3		-1,2	-2,0	-0,4		-0,2	

Joonis 9 välisrõhu koefitsient nelja kaldega katusele

Таблица 7.7 — Значения $C_{p,net}$ и C_r для отдельно стоящих двухскатных навесов и навесов корытного сечения

Угол уклона α	Степень заграждения φ	Коэффициент усилия C_r	Коэффициенты давления нетто $C_{p,net}$ План			
			Зона А	Зона В	Зона С	Зона D
+10°	Максимум все φ	+0,4	+0,7	+1,8	+1,4	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,7	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
+15°	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
	Максимум все φ	+0,4	+0,9	+1,9	+1,4	+0,4
+20°	Минимум $\varphi = 0$	-0,8	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
+20°	Максимум все φ	+0,6	+1,1	+1,9	+1,5	+0,4
	Минимум $\varphi = 0$	-0,9	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
+20°	Минимум $\varphi = 1$	-1,3	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1

Joonis 10 $C_{p,net}$ ja C_r väärtused eraldiseisvate viilkatusega varikatuste jaoks