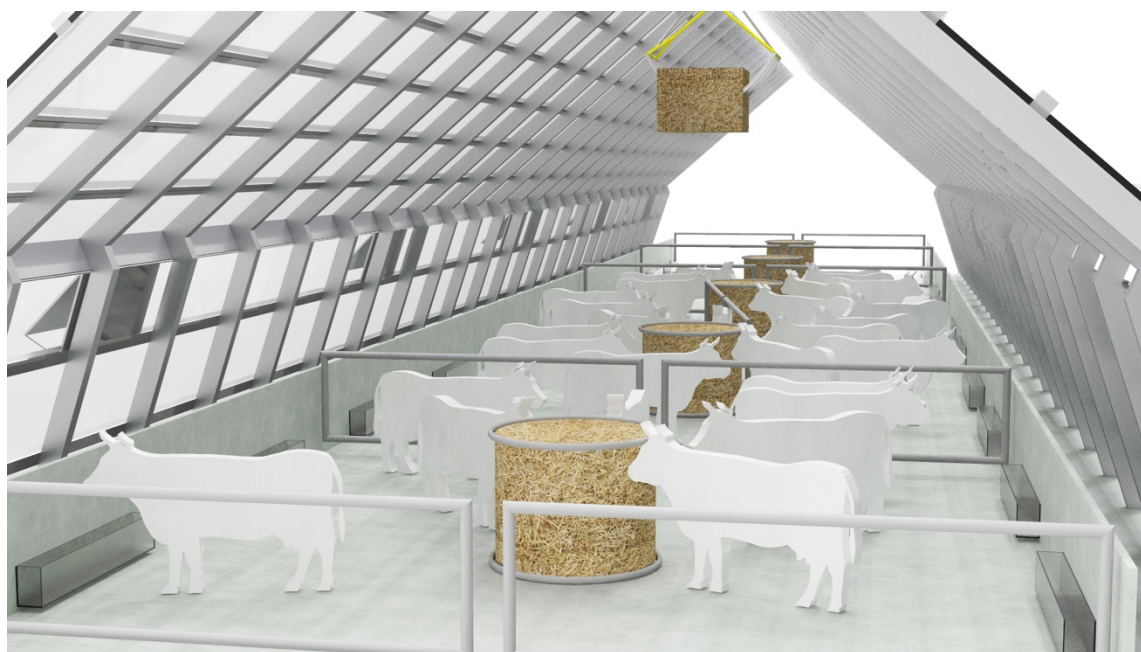


TARK LAUT

31 August 2018

PROJEKTI LÕPPARUANNE



TAASTUVENERGIAL TÖÖTAVA TERMO-REGULEERITUD
LAUDA KONTSEPTSIOON-LAHENDUSE LOOMINE



Euroopa Maaelu Arengu
Põllumajandusfond:
Euroopa Investeeringud
maapiirkondadesse

TARK LAUT

PROJEKTI PEALKIRI: TARK LAUT - innovatiivne taastuenergiaga töötav termo-reguleeritud lauda kontseptsioon-lahendus.

TEKSTI EDASTAJA: Tõnno Olonen, innovatsioon@koivakonnu.ee, 55546804

PROJEKTI KOORDINAATOR: Koivakonnu OÜ, Tsirgumäe, 68011 Valgamaa, info@koivakonnu.ee, 55546804

PROJEKTI PARTNER: Tartu Ülikool, Nooruse 1, 50411 Tartu, tauri.tatte@ut.ee, 5569 1141

LÜHIKOKKUVÕTE: Projekti käigus loodi Koivakonnu mahe lihaveisefarmi ja Tartu Ülikooli koostööl innovatiivne taastuenergiaga töötav energiatõhus termo-reguleeritud veiselauda kontseptsioon-lahendus (TARK LAUT). TARK LAUT on lihaveiste pidamiseks optimaalse mikrokliimaga ehitus-tehniline lahendus, mis suurendab loomade heaolu päevavalguse parema kasutamisega, muudab allapanu vahetamise / sõnnikukäitlemise mugavamaks nii loomadele kui loomapidajatele ning suurendab loomade metaboliseeruva energia kasutuse efektiivsust läbi optimaalse temperatuuri ning õhuringluse. Hoone kasutab maksimaalselt ära päikeseenergiat ning aastaringne sisetemperatuur plusskraadides on tagatud minimaalse lisaküttevajadusega. Kontseptsioon-lahendus võimaldab veisekasvatajatel kasutada hoonet suvel kõrge lisandväärtusega kõrvalsaaduste kasvatamiseks ja/või kuiva heina tootmiseks.

MÄRKSONAD: laut, termo-reguleeritud, taastuenergia, lihaveised

PROJEKTI STAATUS: lõpetatud

RAHASTAMISALLIKAS: MAK meede 16.2.

PROJEKTIPERIOOD: 01.09. 2016 - 31.08.2018

GEOGRAAFILINE ASUKOHT: Eesti Vabariik

1. ELLUVIIDUD PROJEKTI KIRJELDUS

Käesoleva projekti käigus loodi Koivakonnu mahe lihavesifarmi ja Tartu Ülikooli koostööl innovatiivne taastuenergiaal töötav energiatõhus termo-reguleeritud veiselauda kontseptsioon-lahendus (TARK LAUT).

Projekti eesmärk oli lihavesite (eelkõige võõrutatud noorloomade) talviste pidamistingimuste parendamine uuendusliku lauda kontseptsioon-lahendusega, et suurendada lihavesikasvatavate majandustegevuse tulemuslikkust, konkurentsivõimet ja rentaablust läbi suurenenud loomade talvise juurdekasvu ning seeläbi muuta lihavesikasvatust keskkondlikult efektiivsemaks läbi suurenenud tootlikkuse.

Peamiseks lahendatavaks probleemiks oli- kuidas jätkusuutlikult ja majanduslikult tasuvalt loomadele tagada talvisel söötmissperioodil a) optimaalne temperatuur (et loom kulutaks võimalikult vähe söödast saadavat energiat oma kehatemperatuuri reguleerimisele), b) võimalikult palju päikesevalgust (et loomadel ei tekiks tavalautades sagedasti esinevad nahahaigused ja ainevahetushäired), c) efektiivne õhuringlus (et välistada laudas kondensatsiooni teke ja niiske keskkond loomadele, mis soodustab haigustekitajate levikut) ja d) farmitööstele laudas head töötamistingimused (suurendades allapanu vahetamise ja loomade käsitlemise ning nende toitmise / jootmise mugavust).

Loodud kontseptsioon-lahendus TARK LAUT on lihavesite pidamiseks optimaalse mikrokliimaga ehitus-tehniline lahendus, mis suurendab loomade heaolu päevavalguse parema kasutamise, muudab allapanu vahetamise / sõnnikukäitlemise mugavamaks nii loomadele kui loomapidajatele ning suurendab loomade metaboliseeruva energia kasutuse efektiivsust läbi optimaalse temperatuuri ning õhuringluse. Hoone kasutab maksimaalselt ära päikeseenergiat ning aastaringne sisetemperatuur plusskraadides on tagatud minimaalse lisaküttevajadusega. Kontseptsioon-lahendus võimaldab veisikasvatajatel kasutada hoonet suvel kõrge lisandväärtusega kõrvalsaaduste kasvatamiseks või kuiva heina tootmiseks, mis võimaldab tekitada loomakasvatusefarmides lississetulekuallika. Võttes arvesse majandustegevuse tulemuslikkuse parandamise ning TARK LAUT kontsepti võimalikke lisahüvesid, siis ei ületa loodav lahendus kõige uuenduslikuma lihavesite tavalauda 1 m² maksumust.

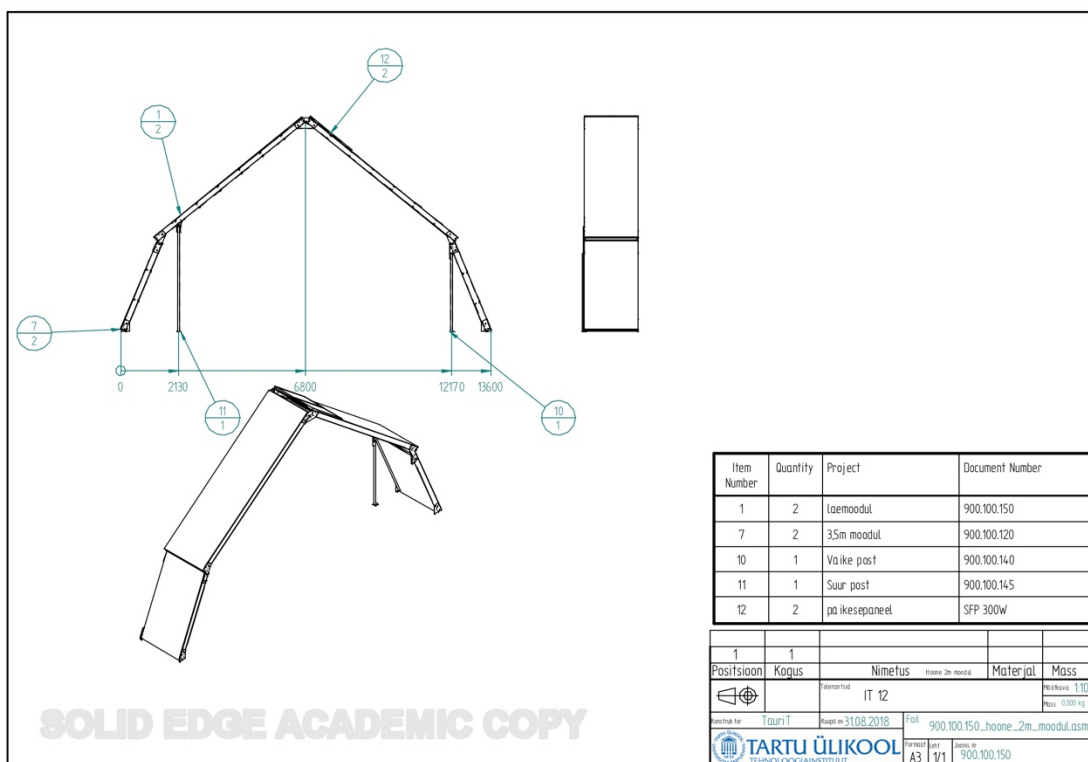
Projekti juhtivaks teadusasutusest partneriks oli Tartu Ülikooli, kes komplekteeris lahenduse väljatöötamiseks sobiliku kompetentsiga meeskonna ülikooli tehnoloogiainstituudist, kelle väljatöötatud lahendusi retsenseerisid ja konsulteerisid mitmete Eesti ülikoolide teadlased ja valdkonna spetsialistid.

Projekti jooksul kombineeriti erinevaid energiatõhusaid ja ressursisäästlikke arhitekti- ja insenerilahendusi nutikate rohetehnoloogia ning mehhatrooniliste lahendustega leidmaks parim ehitus-tehniline lahendus projekti eesmärgi saavutamiseks sh koostati erinevaid analüüse, simulatsioone, arvutuslikke mudeleid ning viidi läbi katseid, mis on alljärgnevalt kirjeldatud.

TARK LAUT kontseptsioon-lahenduse põhjalik kirjeldus.

1. Konstruksioon

1.1 Karkass



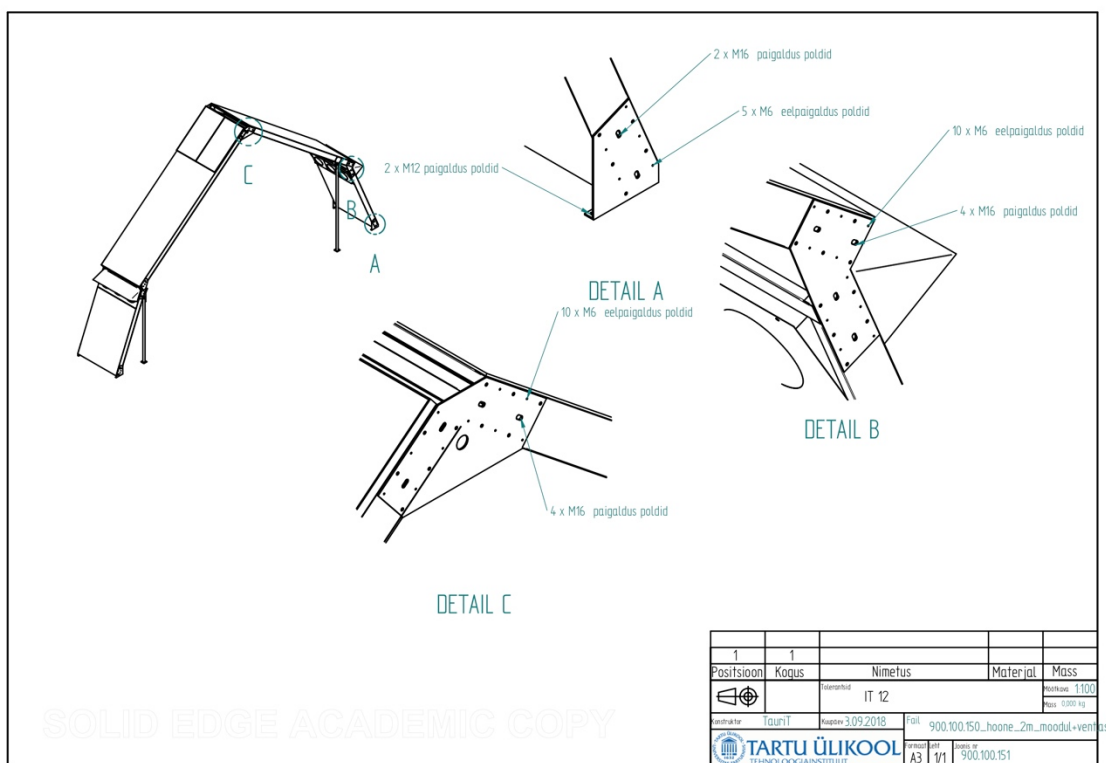
Joonis 1 TARK LAUT lahenduse konstruksioon

TARK LAUT põhikanderaam koos koosneb terrassõrestikkudest ja teraspostidest (U-kujulised terasprofiilid). Sõrestikud ja postid ühendatakse omavahel jäikade sõlmedega. Alt kinnitatakse raam vundamendile. Põhikanderaam võtab vastu

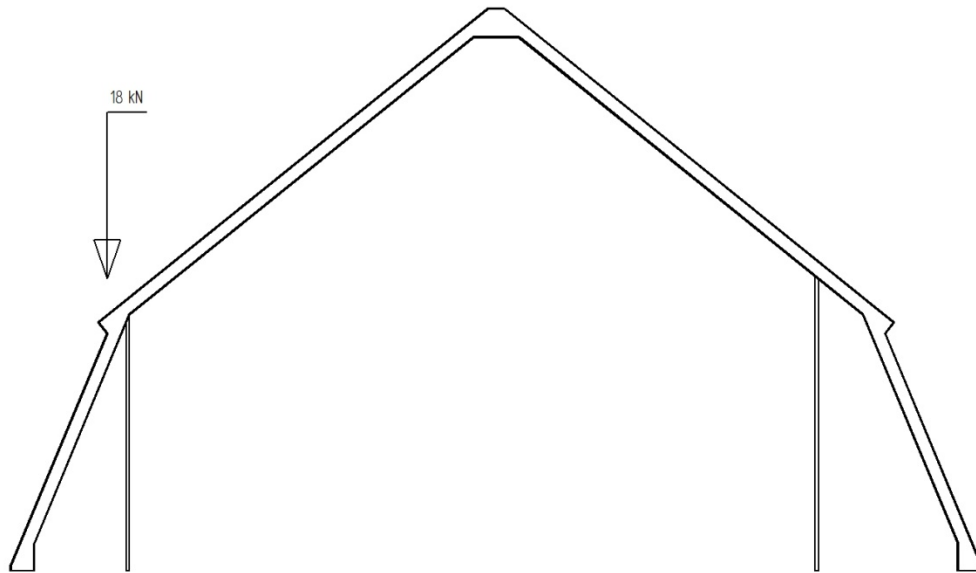
kogu tuulest ja katuselt tuleva horisontaalkoormuse. Hoone raamid paigaldatakse sammuga 2 m. Katusekonstruktsiooni ühe löövi fermile toetuvad kaks katust laiusega 2 m. Hoone jäikus ja stabiilsus tagatakse vertikaalsete terrassidemetega. Sõrestike stabiilsus piki hoonet tagatakse ühendavate harjaprofiilidega ja rennidega ning kandvaks toeks on telfritala.

Katusetasandis on ette nähtud terrassidemed. Hoone ja loomakasvatusliku ala kandekonstruktsioonideks on ette nähtud kanttoruprofillist või ümartorust teraspostid, mis betoneeritakse monoliitselt vundamentide sisse (1,4 m kõrguselt). Hoone katuslaed ja seinad on ette nähtud terasprofiilidest katusekonstruktsioon, mis toetuvad terasest seinakarkasside peale.

Hoone karkass (kattekihtide vahel) on kaitstud C3 klassiga ning hoone sisekliimaga kokkupuudet omavad detailid kaitsega C5. Konstruktsioonidetailide omavahelised kinnitused on valmistatud S235 terasest ning kaetud ZN kattega (500 g/m²). Kinnitusdetailid eelmonteeritakse M6 poltidega ning lõppmontaažis paigaldatakse M16 poldid.



Joonis 2 TARK LAUT konstruktsiooni ühenduskohad



Joonis 3 Poltliidese maksimaalse nihkepinge positsioon

Vastavalt maksimaalsete koormustele esineb kõrgeim nihkepinge seina ja laeliitmel. Seega arvutusetes on aluseks enim koormatav liide e. lae ja seina liide.

Poltliidesees poldi keskmine pinge $T_s = (9 \text{ kN}/200 \text{ mm}^2)^2 = 22,5 \text{ MPa}$.

Loodud kontseptsioon-lahenduse struktuuri lõplikud parameetrid põhinevad Solid Edge keskkonnas koostatud tugevusarvutusmudelitel, koormussituatsioonide simulatsioonidel ning konstruktsiooniliidete jõuanalüüsidel. Mudelile omistati Steel S235JR terase omadused.

Hoone konstruktsioonidele mõjuvad kasutuskoormused ja neile vastavad ülekoormustegurid on määratud Eesti projekteerimisnormi EVS-EN 1991-1-1:2002; Osa 1-1 alusel normatiivsete suurustena.

Liikumisteedele jäävate hoone kandekonstruktsioonide projekteerimisel ei ole arvestatud transpordist tulenevate otsasõidukoormustega. Kandetarindid sõidukite liikumisteedel või nende mõju raadiuses tuleb ümbritseda kas tõkete või äärekividega võimaliku otsasõidu vältimiseks.

TARK LAUT hoonele mõjuvad koormused:

1. Lumekoormus (EVS-EN 1991-1-3:2006), kujutegur 0,6 – 0,9 kN/m²
2. Tuulekoormus (EVS-EN 1991-1-4:2006), $v_{\text{ref}} = 21 \text{ m/s}$ – 250 N/m²

3. Tõsteseadmete koormus (telfer 1 t tõstejõuga). Koormus 3 kN hoone teljele (IPE 160) 1 kN/m

Teoreetilised maksimaalsed TARK LAUT hoonele mõjuvad koormused:

$$F_1 \text{ (telfri koormus)} = 1 \text{ kN/m} \times 2 \text{ m} = 2 \text{ kN}$$

$$F_2 \text{ (lumekoormus)} = 0,9 \text{ kN/m}^2 \times 14 \text{ m}^2 = 12,6 \text{ kN}$$

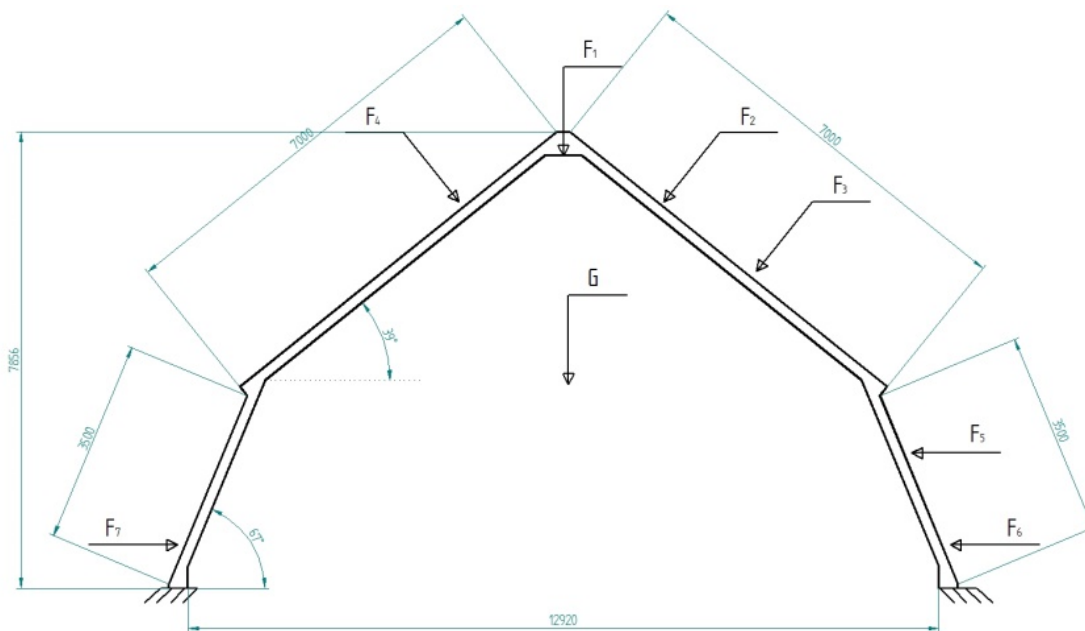
$$F_3 \text{ (tuulekoormus)} = 250 \text{ N/m}^2 \times 14 \text{ m}^2 = 3,5 \text{ kN}$$

$$F_4 \text{ (lumekoormus)} = 0,9 \text{ kN/m}^2 \times 14 \text{ m}^2 = 12,6 \text{ kN}$$

$$F_5 \text{ (tuulekoormus)} = 250 \text{ N/m}^2 \times 7 \text{ m}^2 = 1,75 \text{ kN}$$

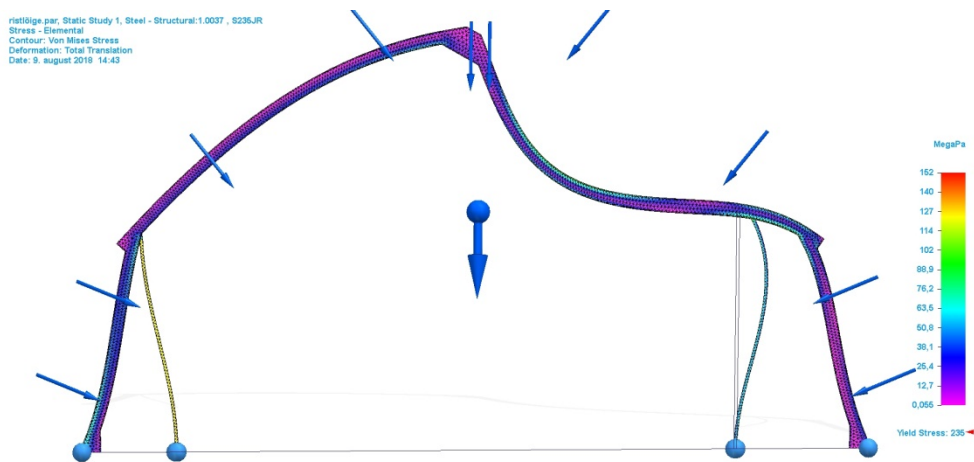
$$F_6 \text{ (lumekoormus)} = 0,2 \text{ kN/m}^2 \times 7 \text{ m}^2 = 1,4 \text{ kN}$$

$$F_7 \text{ (lumekoormus)} = 0,2 \text{ kN/m}^2 \times 7 \text{ m}^2 = 1,4 \text{ kN}$$

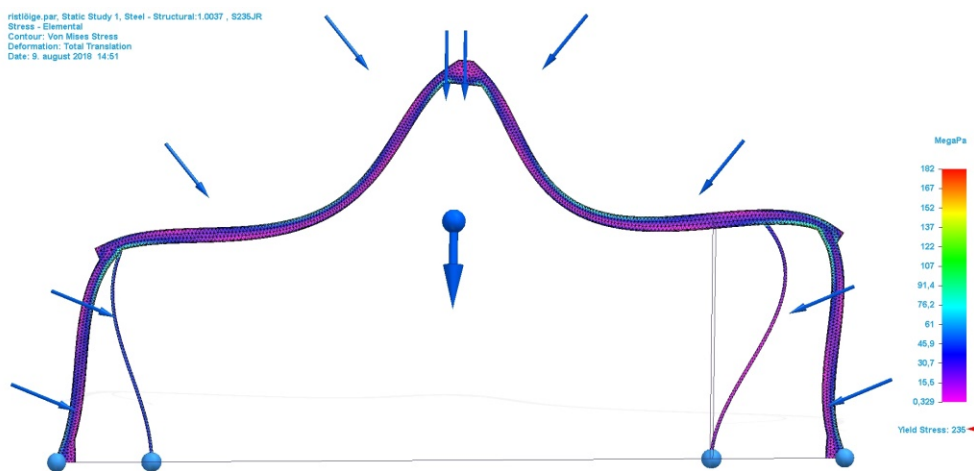


Joonis 4 Kandevkonstruktsioonile mõjuvate koormuste joonis

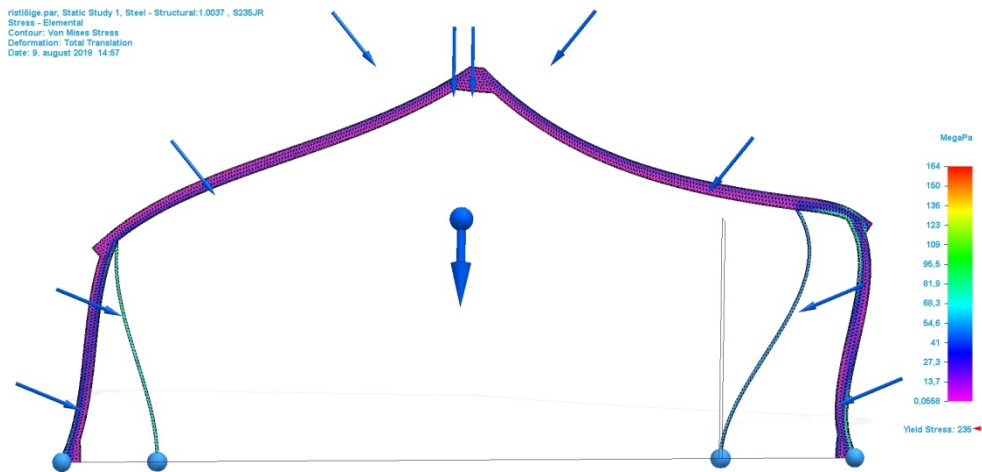
Järgnevad joonised 5-8 kujutavad pinge jaotumist (mitte hoone deformatsiooni) erinevates koormussituatsioonides.



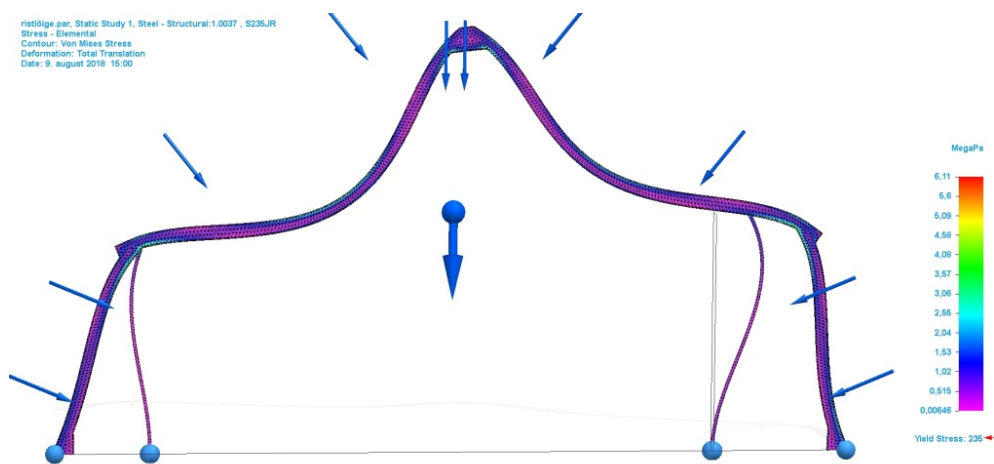
Joonis 5 Hoone koormatud ühelt küljelt: tugeva tuule(F3,F5) ja lumega(F2,F6) ning laest telfriga (F1)



Joonis 6 Hoone koormatud mõlemast küljest: tugeva tuule (F3,F5) ja lumega (F2,F6,F7,F4) ning laest telfriga (F1)



Joonis 7 Hoone koormatud laest telfriga (F1)

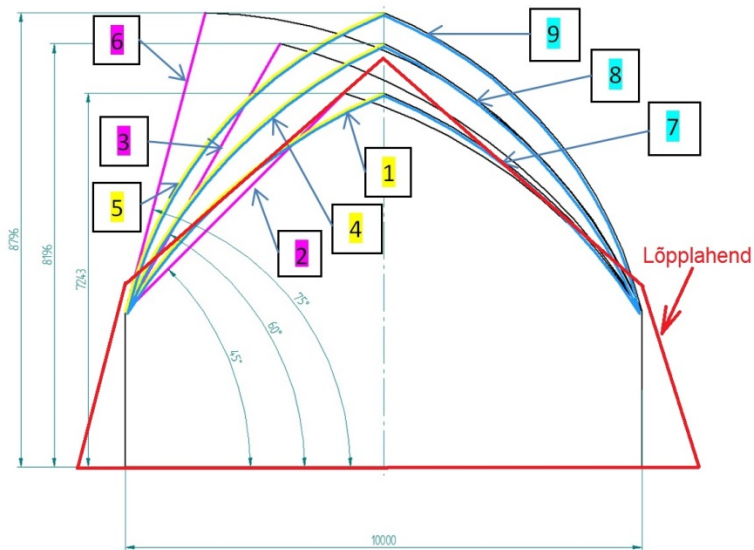


Joonis 8 Hoone koormatud ilma lisakoormusteta

TARK LAUT kontseptsioon-lahendus vastab kõikidele ehitusnormidele ning on struktuurselt püsiv.

1.2 Geomeetria, kattedehid, asend

Hoone sisekliima ja optimaalse geomeetria arvutusteks koostati simulatsioonimudel, mis võttis arvesse päikese tõusunurka ning päeva pikkust. Arvutuste alusel võrreldi sisekliimat talvise pilvise ilma ja talvise selge külma ilma korral. Suvist hoone sisekliima käitumist simuleeriti kuuma ilma näitel.

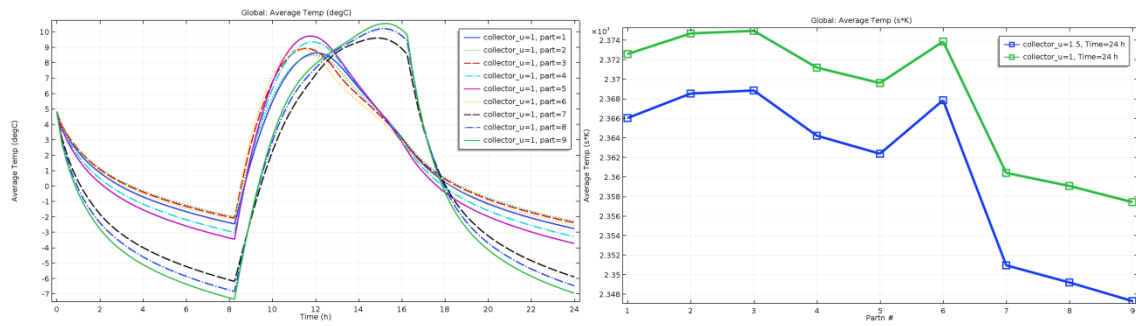


Joonis 9 TARK LAUT lõpplahendi ristlõige (tähistatud punasega)

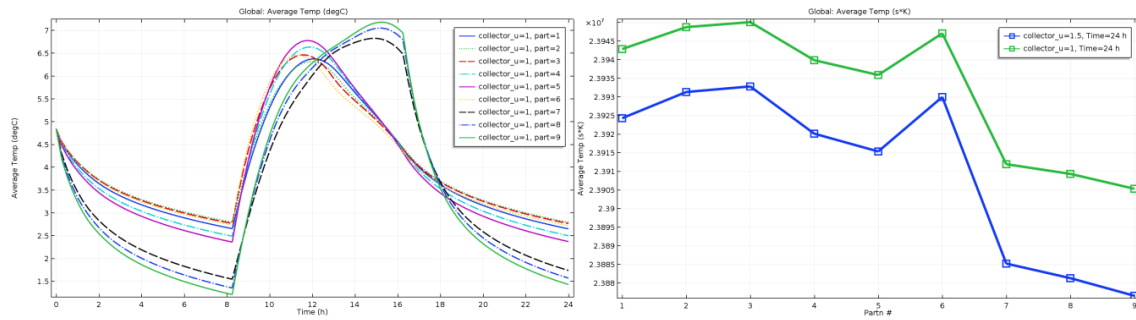
Arvutuslikest tulemustest järeldus, et talvisel ajal saavutab parima tulemuse 60° kaldega kujund 3, kuid 45° kalle (kujund 2) ei jää oma tulemustelt oluliselt alla eelnevale. Kahe eelneva kujundi võrdluses erineb talvisel ajal antud kujunditega hoone sisetemperatuur ca. 0,5 °C.

Kui hoonet kasutatakse suvisel ajal kuivatina, siis olulist erinevust kujundite (kujundid 7, 8, 9) erinevus (ca 3 °C) ei loo. Pigem mõjutab antud hoone sisekliimat talvine piirde soojusleke. Seega teoreetiline optimaalseim kujund on 60° päikeseaktiivse seinaga ja lamekatusega kujund, mis vähendaks maksimaalselt piirde soojusleket. Kuid antud teoreetiline lahend ei tagaks ruumi vajalikke / kasutuslikke minimaalseid nõudeid (nt loomulik ventilatsioon elektrikatkestuste juhul).

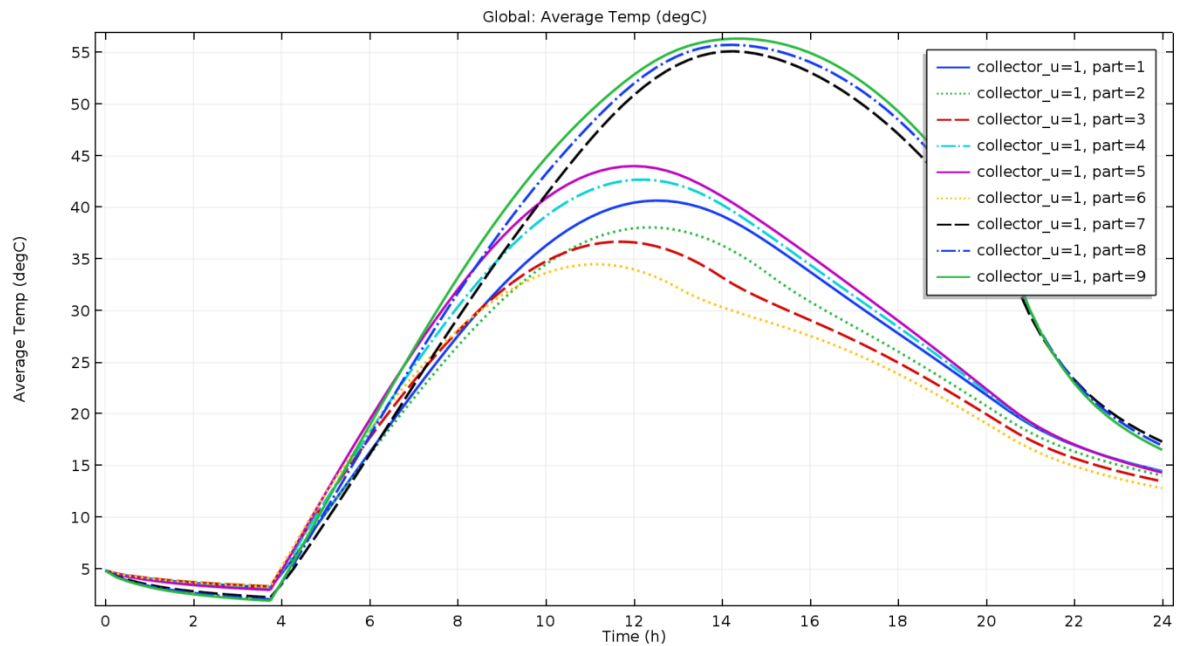
Võttes arvesse tugevusarvutuste tulemi, kus optimeerimise aluseks võeti ka materjalide saadavuse, hinna ja koostatavuse alused (enamus tootjaid pakuvad kattekihtide maksimaalseks pikkuseks 7 m), osutus optimaalseks 39° katusekalle. Antud katusekalle annab nii häid võimalusi loomuliku ventilatsiooni lahendusteks kui ka püsib talvisel perioodil lumevaba.



Joonis 10 Lahenduse temperatuurine käitumine külma päikeselise talveilmaga (välistemperatuur -20 °C)



Joonis 11 Lahenduse temperatuurine käitumine külma päikeselise talveilmaga (välistemperatuur -2 °C)

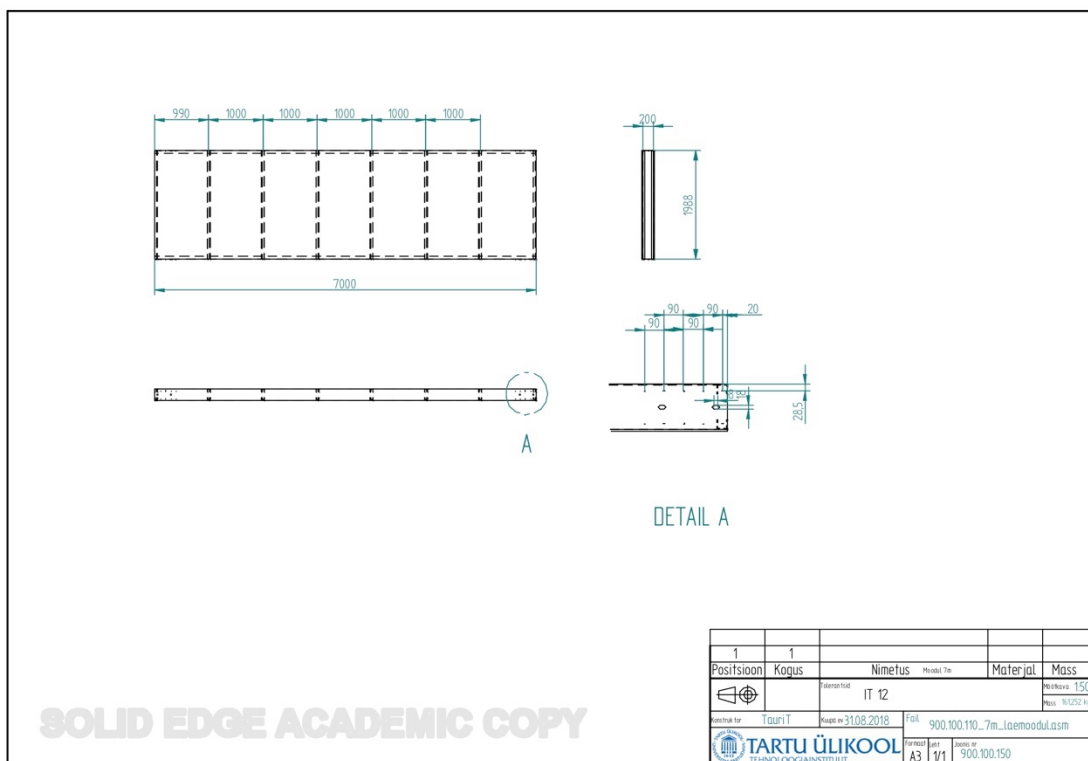


Joonis 12 Lahenduse temperatuurine käitumine suvel (välistemperatuur +20 °C)

TARK LAUT lahenduse lõppkujund on optimaalne geomeetiline kujund võttes arvesse maksimaalset päikese energia läbivust seina pindadelt, hoone puhastamise vajadust ning katusenurk on optimeeritud kasutamaks tarnitavaid ehitusmaterjale.

TARK LAUT hoone kattekiht koosneb 16 mm kõrgmaterjalist ja 1 mm aluskihist (polükarbonaatplaadid), mida eraldab 200 mm õhuvahe. See tagab hoonele optimaalseima kiirguse läbilaskvuse (max 80%) ja soojapidavuse ($U=1,32$) suhte. Kattekiht asub hoone katusel kaldega 39 kraadi ning hoone seintel kaldega 67 kraadi. Hoone soojapidavuse suurendamiseks on põhjapoolsesse seina võimalus paigaldada kattekihtide vahele lisasoojustus (1200 mm x 1000 mm EPS plaat) kasutades selleks vastavaid avausi. Veiselaudana kasutatakse TARK LAUT lisasoojustust üldjuhul ei vaja – laut püsib plusskraadides ilma lisakütteta ka kuni 20 kraadise sise- ja välisõhu temperatuuride erinevuse korral.

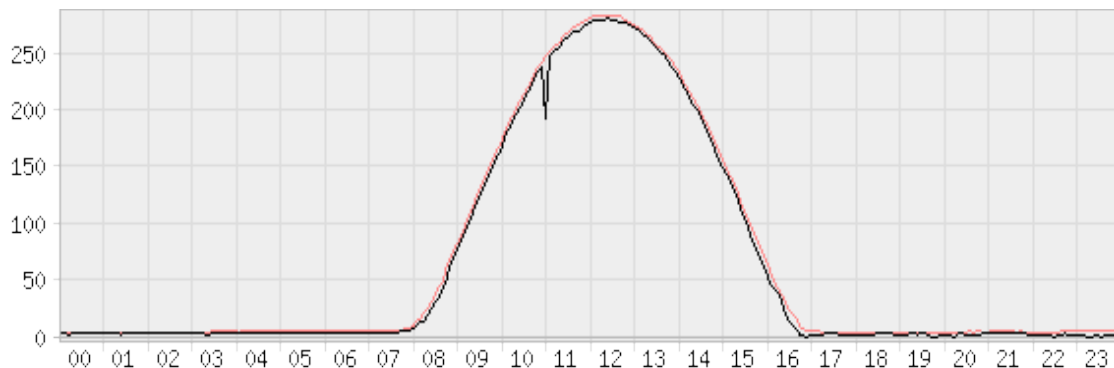
Kahekihiline ning sundalarõhul hoone tagab konstruktsioonile oluliselt pikema eluea ning nõuab madalama tasemega pinna korrosioonikaitset.



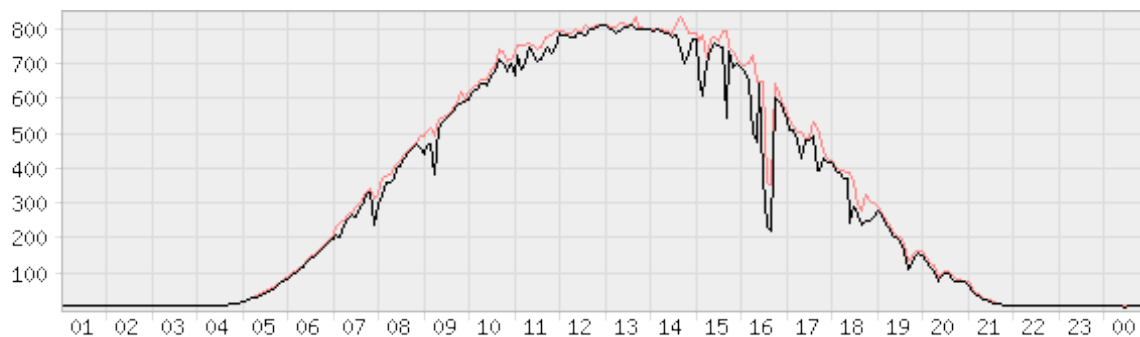
Joonis 13 TARK LAUT hoone kihtplastist katteplaadid

Välja töötatud optimaalseim kattekihtide lahendus põhineb kahe- kuni kolmekihiste kattekihtide omaduste uuringul / reaalkatsetel, temperatuuri- ja konvektsioonianalüüsidel (FEM analüüsid) ning kattekihtide soojusarvutustel. Kattekihtide võrdlusuuringuteks koostati erinevad kliimamudelid:

1. külm päikseline talveilm, millel ööpäeva keskmine välistemperatuur $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning päevane kiirgusvoog maksimaalselt horisontaalsele pinnale 360 W/m^2 (ööpäeva keskmine 61 W/m^2), millest 50% on hajuskiirgus .Etalonpäev (8.02.2017);
2. soe sademeterikas talveilm, millel ööpäeva keskmine välistemperatuur $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning päevane kiirgusvoog maksimaalselt horisontaalsele pinnale 80 W/m^2 (ööpäeva keskmine 11 W/m^2), millest 50% on hajuskiirgus. Etalonpäev (19.01.2017);
3. kuum suveilm, millel ööpäeva keskmine välistemperatuur $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ning päevane kiirgusvoog maksimaalselt 1000 W/m^2 (ööpäeva keskmine 310 W/m^2) millest 30% on hajuskiirgus. Etalonpäev (26.07.2017).

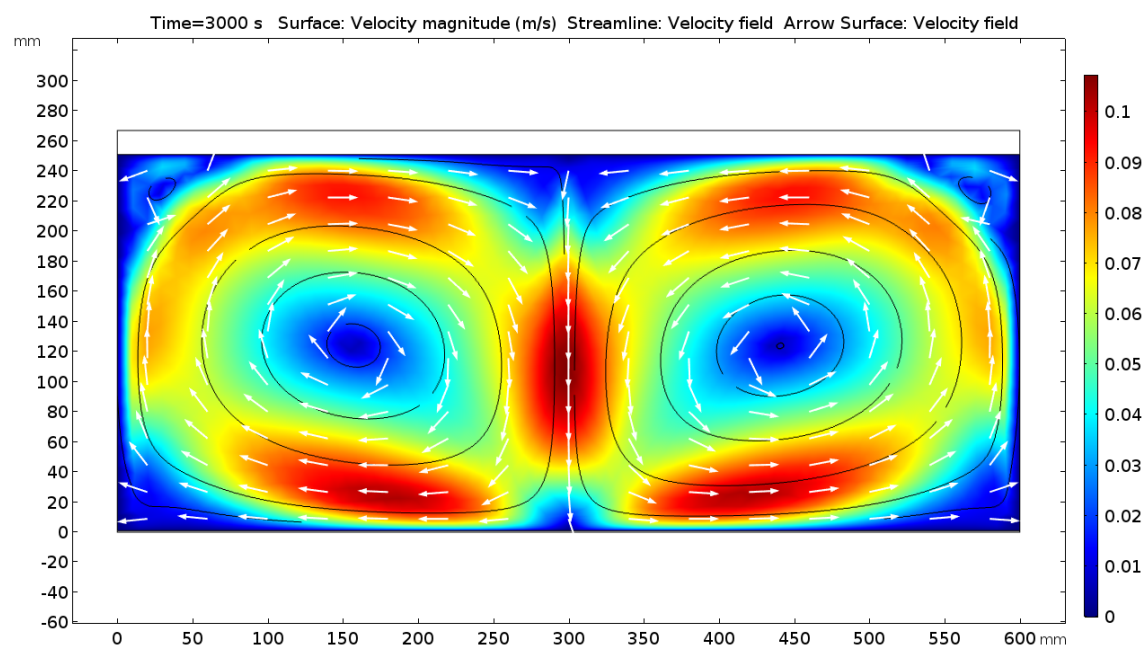
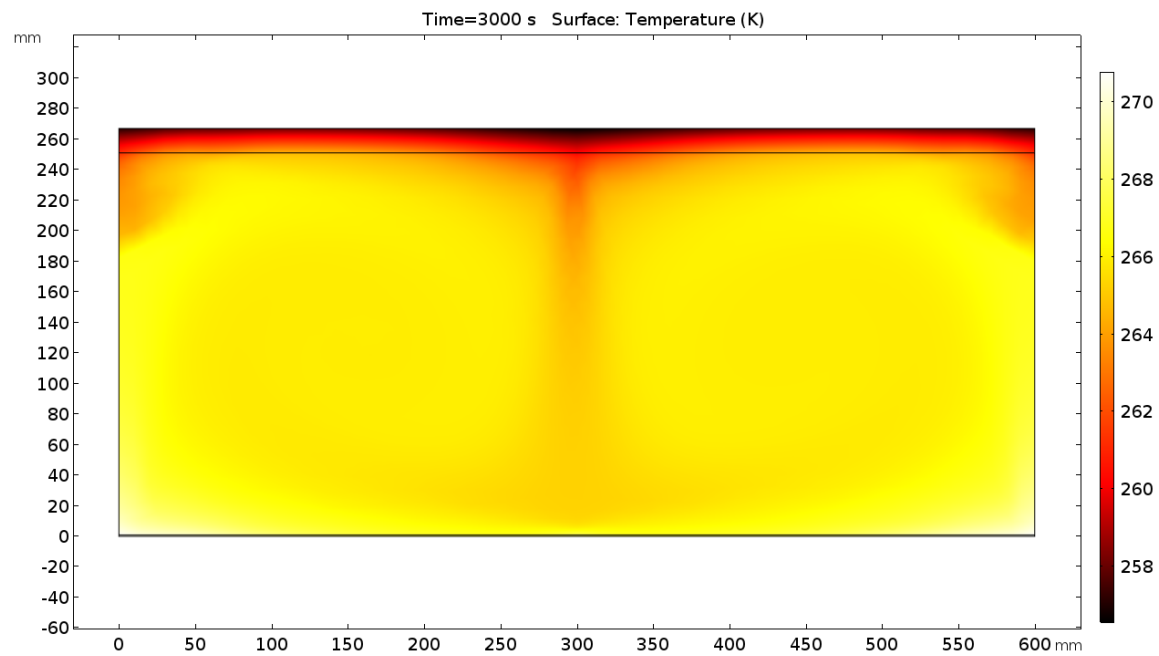


Joonis 14 Päevane kiirgusvoog külm päikseline talveilm mudelis

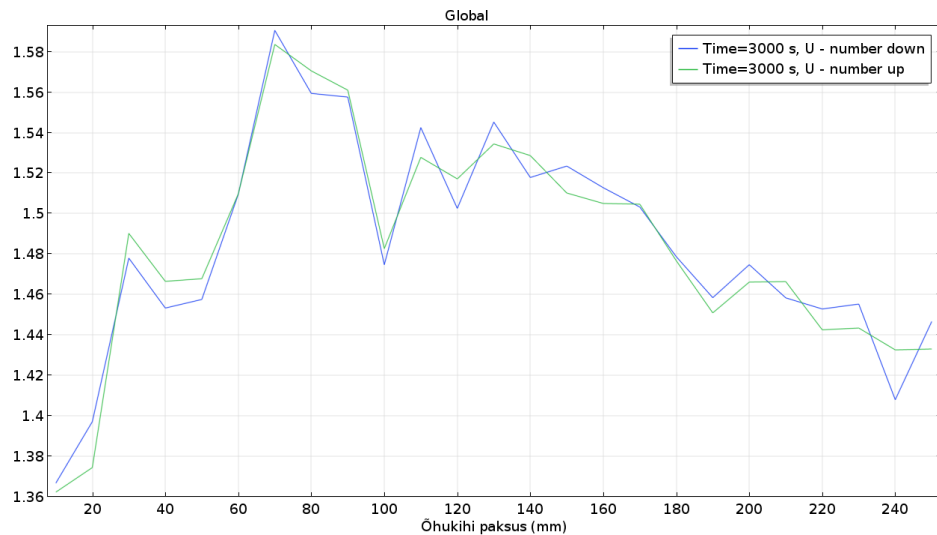


Joonis 15 Päevane kiirgusvoog kuum suveilm mudelis

Allolevatel joonistel on kujutatud TARK LAUT lahenduse kihtidevahelise konvektsiooni kiirus, suund ja temperatuuri jaotus.



Joonis 16 TARK LAUT lõpplahenduse konvektsiooni ja temperatuuri analüüs 200 mm-se õhuvahega, kus väliskihis asetseb 16 mm paksune kihtplast ning sisekihis 1 mm laineline lehtmaterjal (PC polükarbonaat)



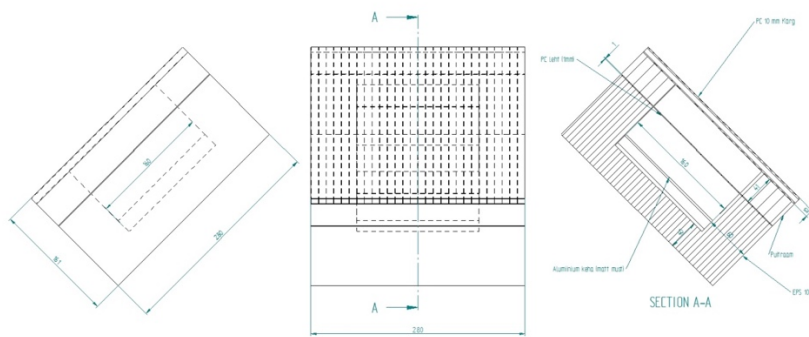
Joonis 17 U-arvu sõltuvus õhuvahest

Hoone lisasoostamise peamine vajadus sõltub antud hoone paigutusest ilmakaarte suhtes. Talvisel perioodil on kõrgema sisetemperatuuri tagamiseks võimalus kasutada kiirgust läbilaskvate kihtide vahel lisa soojustuse kihti. Antud soojustuskihi saab lihtsa vaevaga, kasutades selleks hoonele loodud kihtidevahelisi puhastuse avausi. Lisasoostuseks kasutatakse EPS-i plaate, mille paksus valitakse vastavalt soojustusvajadusele, max 200 mm. Vahtplaatide mõõdud 1200 mm x 1000 mm tagavad varuplaatide saadavuse poekaubana. Soovitav on antud isolatsiooniplaatide katmine kiirgust peegeldavate veebaasil värvainetega. Antud kattega EPS-plaadid hoone sisepinnal suunavad päikesekiirgust ka paremini hoone põrandale, mis tagab parema soojuse salvestamise.



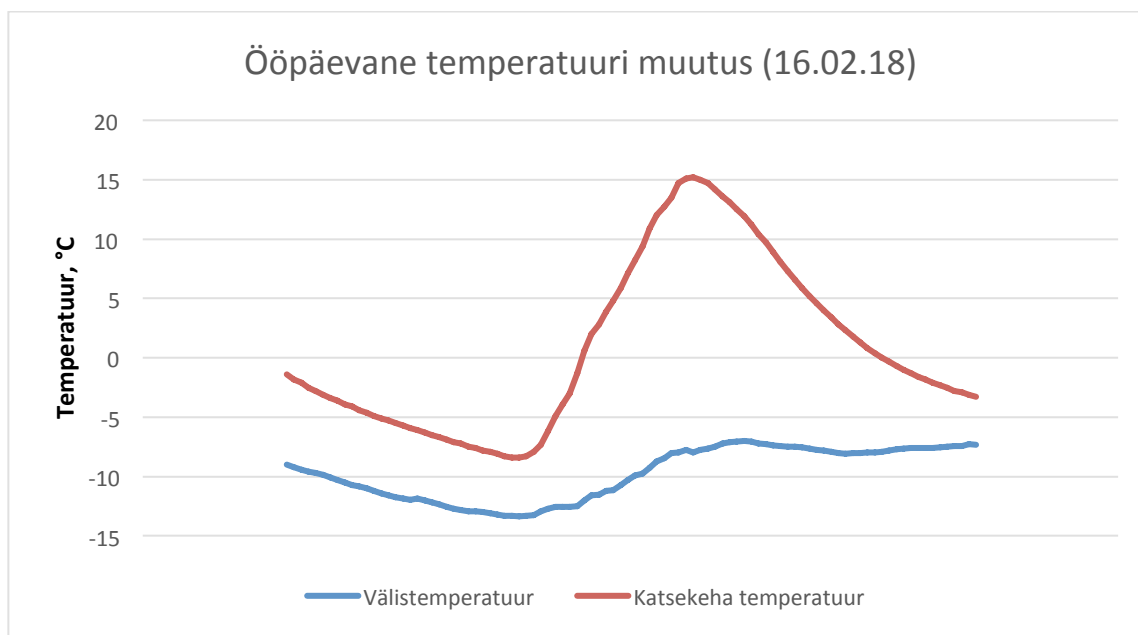
Joonis 18 EPS-plaatide paigaldus hoone ühele sektorile

Reaalkatsetes katsekehaga saadud tulemused kinnitasid FEM simulatsioonide õigsust ning täpsustasid temperatuursete perioodide käitumist. Mõõtmiste analüüs näitas, et katsekeha energiabilanss jääb perioodilõikes positiivseks (0,99 °C), kui vaadelda tervet mõõteperioodi. Katsekeha väiksusest tulenevalt on oluliseks erinevuseks tema neelduva pinna varjumine (kell 2 päeval) varem kui tegelikul hoonel.

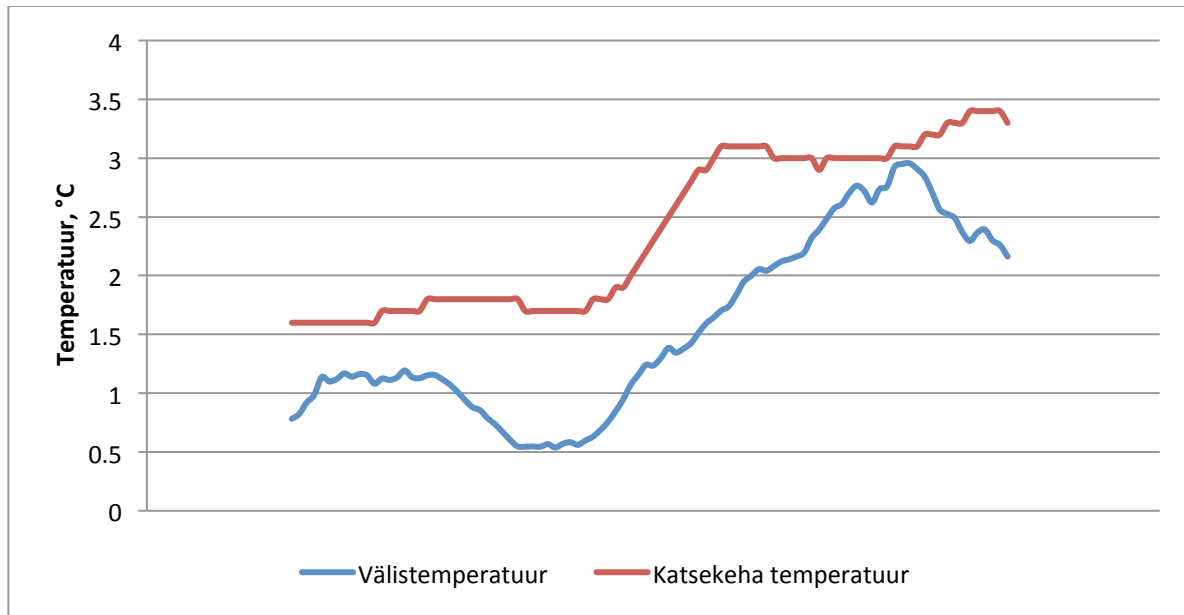


Joonis 19 Katsekeha TARK LAUT termo-isolatsiooni omaduste määramiseks

Järgneval joonisel on kuvatud ööpäevaste temperatuuri muutus (ilusa päikesepaistelise külma ilmaga 16.02.18, KPT kliimamudel) katsekehal võrrelduna välistemperatuuriga. Jooniselt on selgesti tuntav katsekeha soojenemine ning ööpäevane positiivne energiabilanss.



Joonis 20 Temperatuursete andmete võrdlus külmal päikeseline talveilm
kliimamudelil



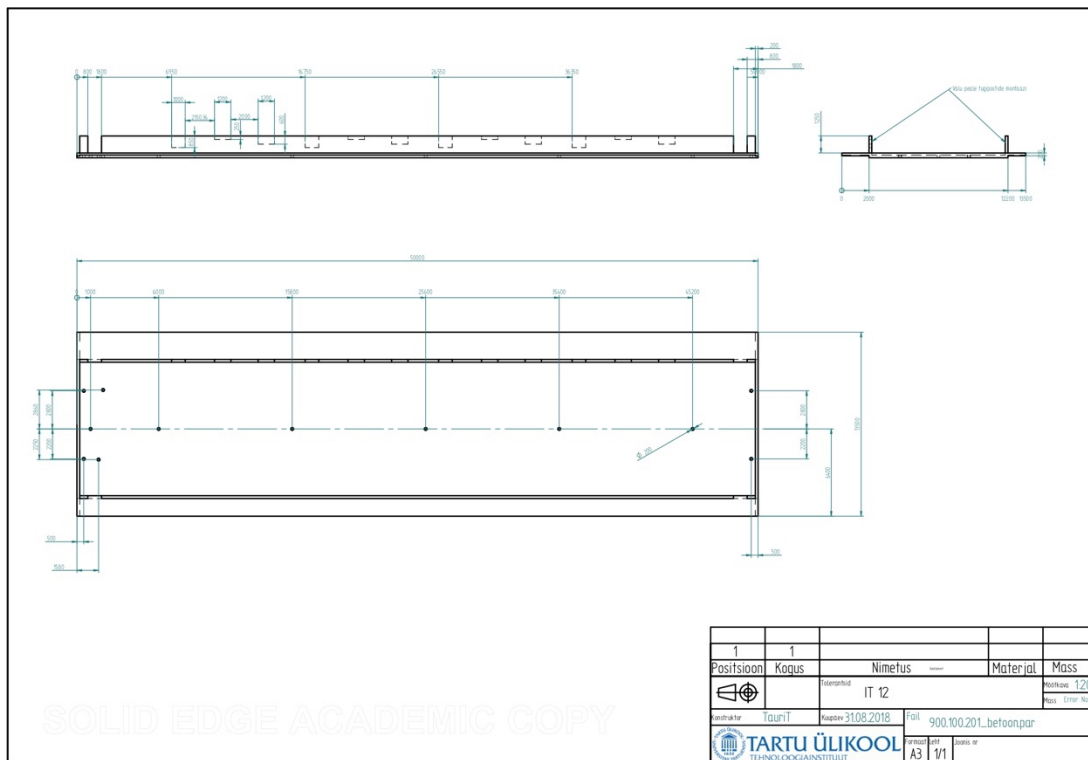
Joonis 21 Temperatuursete andmete võrdlus soe sademeterikas talveilm
mudelil

Selleks, et kasutada maksimaalselt ära päikeseenergiat, on loodud TARK LAUT lahendus projekteeritud paiknema ühe küljega lõunasse. Lõunapoolsel küljel oleks soovitatav jälgida maksimaalselt avatud vaadet, mis tagaks talvise otsese kiirguse juurdepääsu. Asendi valikul oleks soovitatav asendeid valida eelistades kõrgendikke ja kuppelmaastikke nii, et lõunaküljele jääks langev perv. Võimalusel välistada hoonete püstitamist metsaga ümbritsetud (mets lähemal 300 m) aladele.

1.3 Põrand

TARK LAUT põrandaks on raudbetoonist perimeetrisoojustusega põrandaplaat. Plaatvundament aitab kanda ehitise koormuse üle suurele pinnale ning see vähendab ehitise deformatsioone. Betoonivalu (C30/37, keelatud on kasutada fiiberbetooni) paksus loomakasvatustlikul alal 150 mm, külgkonsoolis 350 mm. Betoon latitakse siledaks ning kuivamisel surutakse betooni 100 x 100 mm karestusstruktuur. Loomagruppide eraldamiseks mõeldud kergaedade tarbeks paigaldatakse põrandasse vertikaalsed torud (peale betoonivalu lõigatakse betooniga tasa).

Hoone eluiga - struktuur on projekteeritud 50 aastase arvestusega, läbipaistvate kattekihtide uuendusi tuleks teostada iga 15 aasta möödudes, sõltuvalt vajadusest.

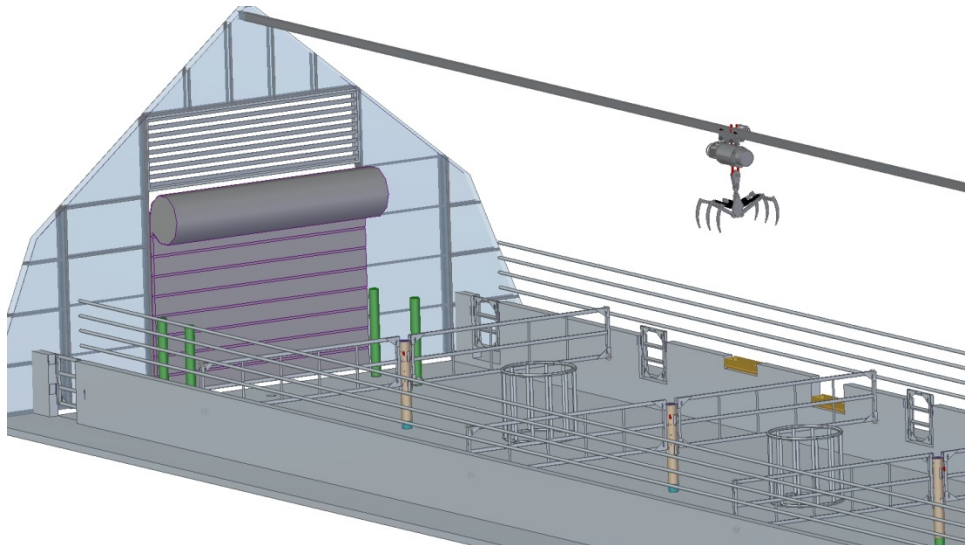


Joonis 22 TARK LAUT põrandakonstruktsioon

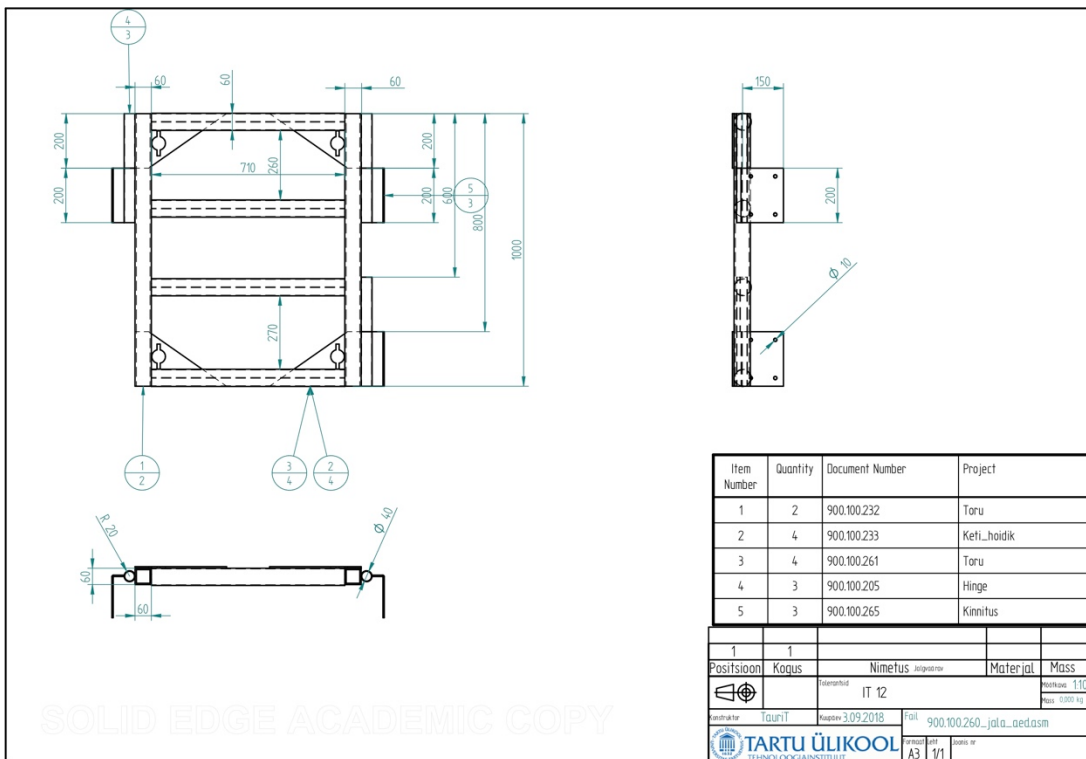
2. TARK LAUT tehnilised ja konstruktsioonilised lahendused

2.1 Loomatalitaja liikumisalad

Hoone valatud siseseinad omavad hoones loomade ja allapanu piirde funktsiooni ning eraldavad loomatalitaja liikumisala. Peale hoone monteerimist uputatakse hoone külgmised postid 1250 mm kõrguselt betooni ning antud valuga moodustatakse loomapidamiseks vajalikud looma- ja sõnnikupiirded. Betoonivalusse jäetakse avad jooturite ja sööturite tarbeks. Valusse paigaldatakse jalgväravad ja vajadusel muid lisaseadmeid. Loomatalitaja liikumisalal saab talitaja seadistada jootureid, visuaalselt jälgida loomi, juhtida laetelfril asetsevat haaratsit ning lisada vajadusel loomapidamisalasse erisöötasid / mineraale.



Joonis 23 TARK LAUT loomakasvatuslik sisustus, esiplaanil loomatalitaja koridor



Joonis 24 Loomapidamisala ja loomatalitaja koridori eraldav jalgvärav

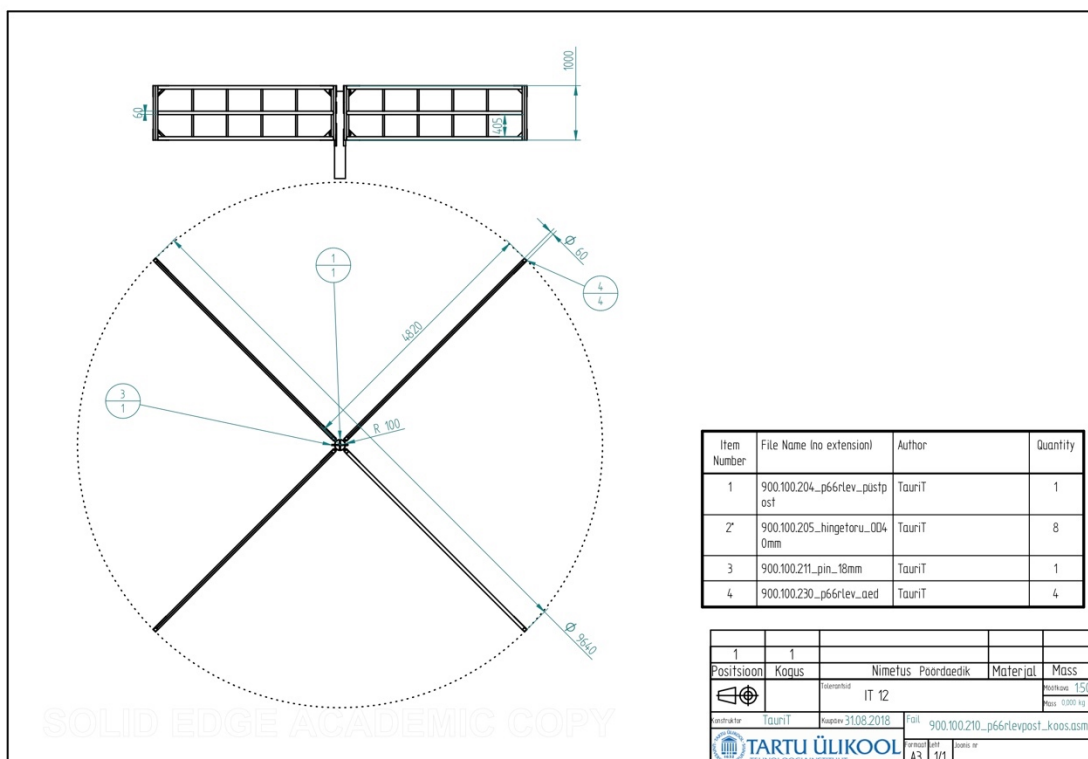
2.2 Loomakasvatusliku ala

Loomakasvatuslik ala sektsioonideks eraldamiseks kasutades selleks projekteeritud pöörlevatel postidel asuvaid metallist kergaedasid kettkinnititega,

mis võimaldavad liigutada loomi erinevatest loomagruppidest sisse ja välja ka hoone keskelt, paigutades teiste loomagruppide vaheaiad hoone teljega paralleelselt.

Kergaedade kõrgust saab reguleerida – tõsta / madalamale lasta - 200 mm sammuga vastavalt kasvavale sõnnikukihile ja/või vastavalt hoones peetavate loomade suurusest. Kergaedade kõrguse reguleerimiseks kasutatakse laetelfrit.

Kettkinnitusdetailid paigaldatakse müürile kiilankrutega. Jalgvärvate avadesse paigaldatakse väravad kasutades kiilankruid. Püstpostid asetatakse põrandabetooni paigaldatud vertikaalitorudesse.



Joonis 25 TARK LAUT reguleeritava kõrgusega pöörlevad vaheaiad

2.3 Söötmine ja jootmine

Loomadele sööda (veiste puhul peamiselt rullitud või presspakina ettevalmistatud hein ja silo) jagamine toimub TARK LAUT lahenduses selleks projekteeritud laetelfi abil liigutatava haaratsiga. Sööt liigutatakse laetelfri asuva haaratsi abil piki hoonet söödakorvidesse. 1000 kg kandevõimega telfri juhtimiseks kasutatakse turvalise wifi protokolliga kaitstud juhtmevaba

juhtimissüsteemi. Juhtmevaba juhtimine võimaldab telfrit juhtida ka hooneväliselt, mis loob läbipaistvate seinte puhul uudse kasutusvõimaluse. Hoone ühte või vajadusel kahte otsa paigutuvad alad, mis on mõeldud sööda ettevalmistuseks.



Joonis 26 Söödakorv TARK LAUT lahenduses

Veiste jootmine on lahendatud seinale (betoonsüvendisse) paigaldatavate jooturitega. Jooturid asetsevad betoonmüüril ning on asetatud kahele kõrgusele. Joogivesi suunatakse (PEM 40 x 3,7) torustiku iga jooturi kohal asetseva liideseni. Torustikud paiknevad seintel rippes ning toetatakse trosskanduriga.

2.4 Allapanu

Allapanu laotamine toimub TARK LAUT lahenduses samuti laetelfi abil liigutatava haaratsiga, millele saab peene fraktsiooniga (purustatud põhk, saepuru) allapanu laotamise korral paigaldada kiirliidese abil paigaldavad kopad.



Joonis 27 Projekteeritud elektriline haarats sööda ja allapanu transpordiks



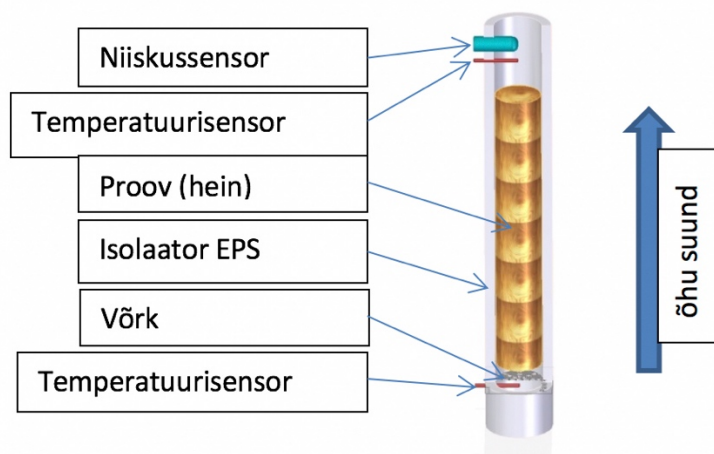
Joonis 28 Haarats koos kopa „kulpidega“

Allapanu eemaldamine toimub üldjuhul kevadel. Allapanu eemaldamise mugavuse parandamiseks saab laetelfri abiga eemaldada kogu sisseseade (aiad, postid, söödarõngad). Peale sisseseade eemaldamist saab lihtsa vaevaga allapanu eemalda kasutades selleks frontaallaadurit.

2.5 Kuivati

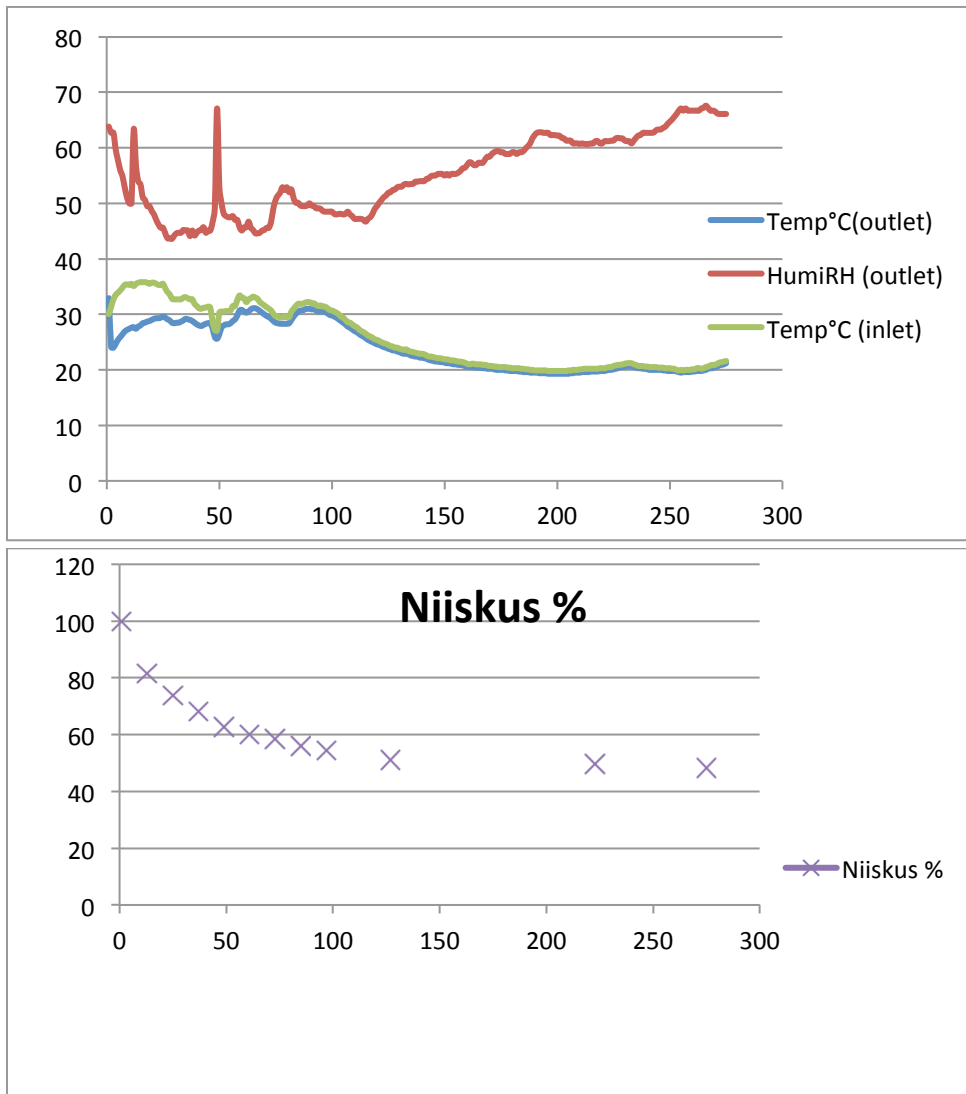
Veisekasvatuseettevõttes on tõenäoliselt kõige kasulikum TARK LAUT lahenduse kasutus suvisel ajal kui heinakuivati. Kuivatusfunktsiooni täidab lahenduses piki telge liikuv talveperioodil teisaldatav konveierkuivati. Niidetud hein tuuakse hoonesse kogurkäruga, kus see korjatakse hoone põrandalt lintkonveierile, millel toimub tsükliline kuivatusprotsess. Läbipuhutavate konveierlintide puhul on võimalik antud lahenduse kasutus ka teravilja kuivatamiseks.

Vastavalt teostatud reaalkatsetele selgus, et antud lahenduses oleks piisav õhuvoolu kiirus läbi materjali 1 m/s. Sõltuvalt heina niiskusesisaldusest saab valida tsüklilise kuivatuseks sobivad protsessi parameetrid (tsükli pikkus, intervallid).



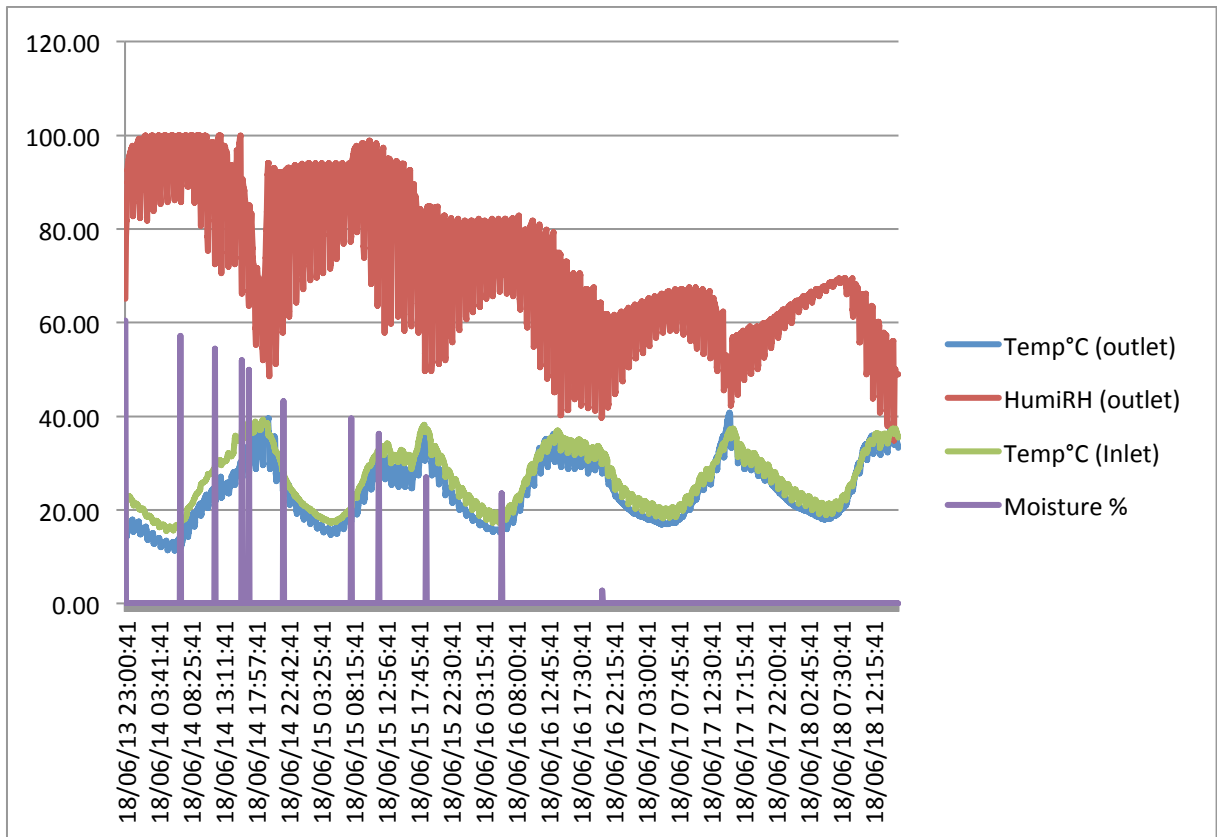
Joonis 29 Heinakuivatuse katseseadme joonis

Esimene katse sooritati eesmärgiga määrata püsiva õhuvoolu (1 m/s) juures kuivamise kiirust. Heina asetati isolaatortorusse ning õhuvool juhiti läbi kuivatatava proovi. Kuivamise kiirust mõõdeti katseseadme kaalumise teel.



Joonis 30 Heina kuivatuskatseseadme katsepüsiva õhuvoolu katse tulemused (aeg on 5 min ühikutes)

Teine katse sooritati eesmärgiga määrata kuivamise kiirust õhuvoolu vahelduval režiimil (10 minutise kuivatuse vaheldumine 1 tunniste pausidega). Antud katse peaks võimalikult ligilähedaselt kirjeldama hoones liikuvat konveierkuivatit. Kuivatuseks kasutati õhuvoolu kiirust 1 m/s. Kuivamise kiirust mõõdeti seadme kaalumise teel.

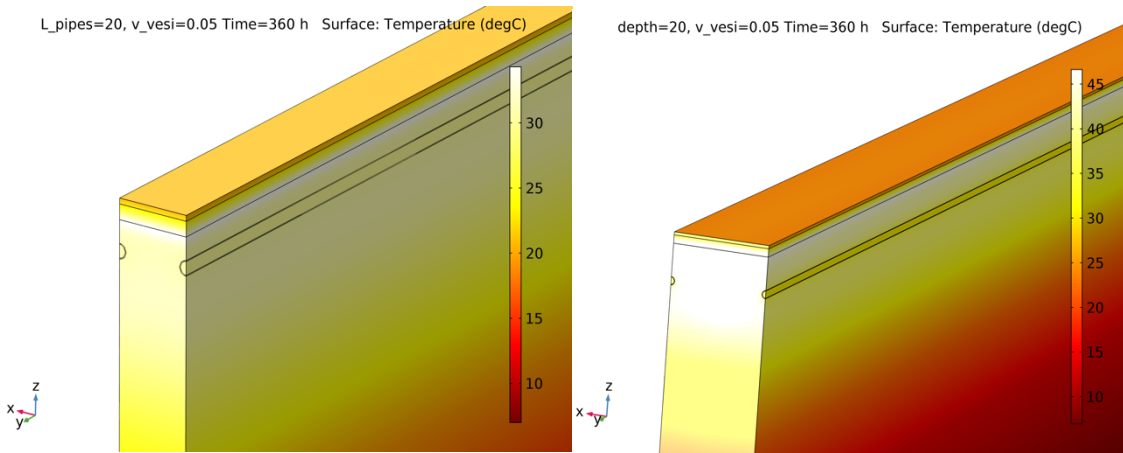


*Joonis 31 Heinakuivatuse katseseadme katkendliku õhuvoolu katse tulemused
(aeg on 5 min ühikutes)*

Selleks, et kuivatuseks saada lisaenergiat, saaks kasutada TARK LAUT hoone ümbruses asetsevat võimalikku vaba ala ehk suurendada päikeseenergia kogumispinda (nn energiapõld). Antud lahendus seab küll mõningased piirangud hoone püstitamisele.

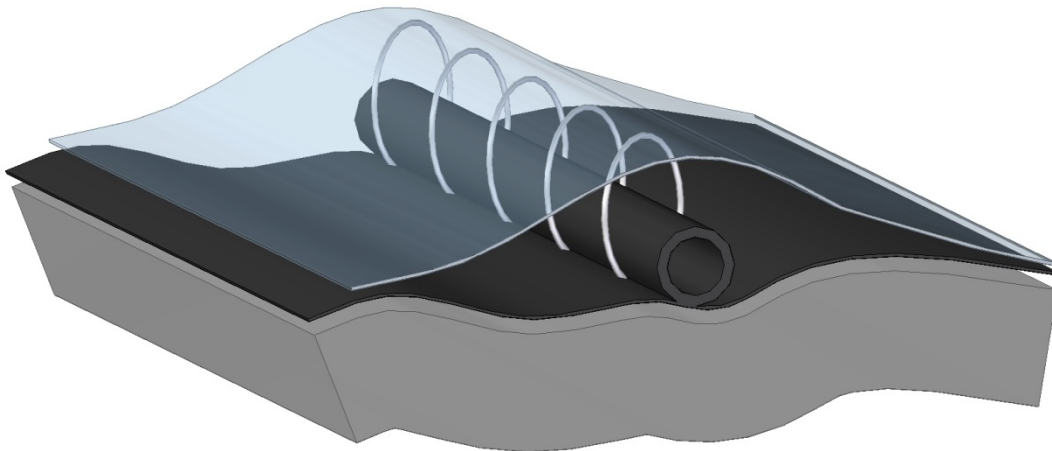
Energiapõllu üheks võimalikuks lahenduseks on võimalikult suure ala kiirgust läbiva kihiga katmine. Sealjuures on katva kihiga üheks oluliseks omaduseks madal soojusjuhtivus. Ca 0,6 ha kasutamine võimaldab kompenseerida ilmastiku järske muutusi olulisel määral.

Energiapõllu ülessoojenemiseks kulub ca 15 päeva, mille järgselt saab akumulatsioonilist energiat kasutada järgnevate ööde ja vihmaste päevade jooksul. Energiapõllu optimeerimiseks ja võrdlemiseks kasutati FEM modelleerimist.

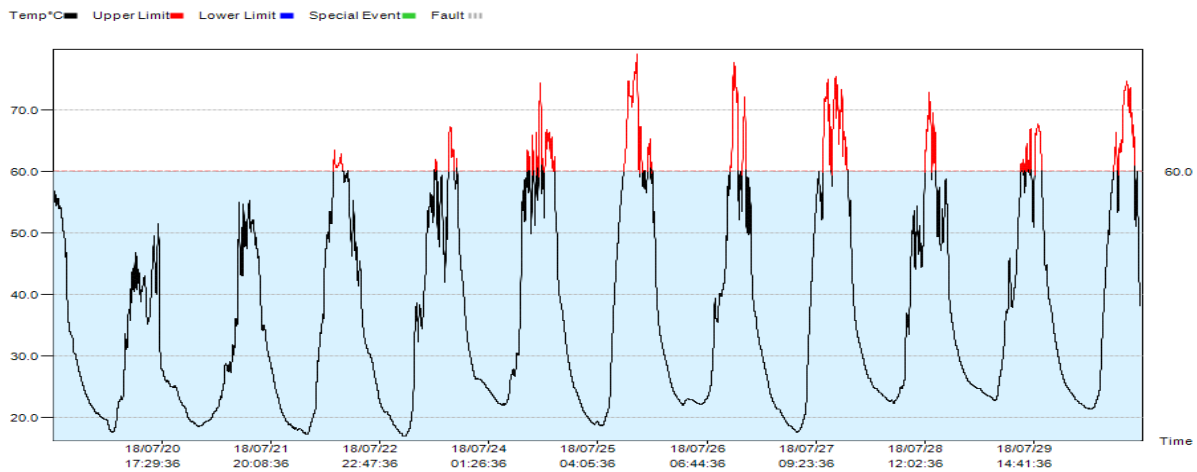


Joonis 32 FEM mudel pinnasesse paigutatud torudega

Energiapõllu parim tulemus saavutati lahenduses, kus on pinnasest piiratud aurumine ning minimeeritud konvektsiooniga lahkuvat energiat.



Joonis 33 Energiapõld, kus pind kaetud 0,7 mm PVC kattega, mille alla on paigutatud aurutõkkeks must kile



Joonis 34 Katsemõõtmine, kus pind kaetud 0,7 mm PVC kattega, mille alla on paigutatud aurutõkkeks must kile ja õhuvähe 28mm

2.6 Päikesepaneelid

TARK LAUT lahenduses kasutatakse maksimaalselt ära päikeseenergia võimet toota sooja ning tagada UV-kiirguse desinfitseeriva toime juurdepääs loomadele ja allapanule läbi optimeeritud hoone geomeetria ja kattekihtide valiku.

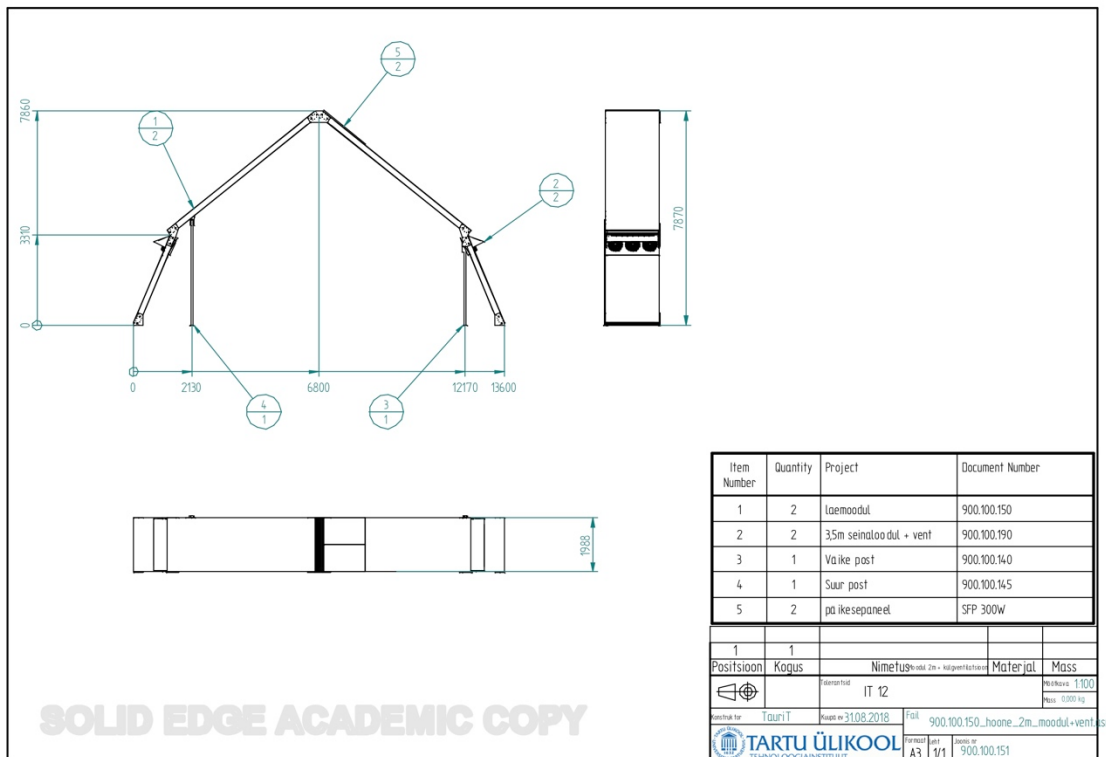
TARK LAUT lahenduses valgustuse, ventilatsiooni ja mehhanismide kasutatava energiatarbe rahuldab lahendusse integreeritud 16 kW võimsusega päikesepaneelid, mis tagavad aasta keskmiseks bilansiks positiivse väärtuse – talvel ööpäevane energiabilanss on +3 kWh/ööpäevas arvestusega, et päikesepaneelide tootlikkus talvisel perioodil on keskmisena +21 kWh/ööpäevas. Paneelidelt saadav energia on muundatud välisvõrguga ühilduvaks. Päikesepaneelidele lisaks on soovitatav TARK LAUT lahenduses kasutada energiasalvestit 10 kWh ulatuses, mis tagaks välisvõrgu katkemisel tõrgeteta töö.

TARK LAUT elektrivarustus on projekteeritud pingesüsteemile 3x230/400 V, 50 Hz. Juhtmestiku süsteem on jäigalt maandatud neutraaliga TN-C/TN-S. Hoone sees kasutatakse 3- ja 5-juhtmelist toitesüsteemi. Kõik kaablid paigaldatakse konstruktsioonide sisse selleks ettevalmistatud avadele. Avadest läbiviigud kaitstakse löikekahjustuse eest isolatsiooniga. Valgustite ja nende juhtmete paigaldamiseks kasutada tsingitud terasest valgustuse riputuse konstruktsioone. Hoonesse paigaldatakse tehnoloogiliste seadmete elektrivarustuseks jaotuskeskused IP 56 kaitstusastmega. Mootorite juhtimiseks kasutatakse

termoreleega konduktoreid ja mootorkaitse-automaatlüliteid. Vajalikud juhtimisnupud ja signaallambid paigaldatakse keskuste kaanele.

3. Ventilatsioon ja termo-reguleerimine

Talveperioodil on TARK LAUT lahenduse ventileerimise peamiseks eesmärgiks tuua hoonesse hapnikku, eemaldada liigset niiskust ning tagada loomadele termo-neutraalne temperatuur. Suvel on oluline temperatuuri alandamine / tõstmine vastavalt hoone kasutusest.



Joonis 35 TARK LAUT ventilatsioonimoodulid

Ventilatsiooni projekteerimisel võeti aluseks õhusaaste normid veisekasvatustlikes lautades, veiste ja biomassi (hein) ventileerimisvajadused ning TARK LAUT arvutuslik soojusbilanss.

Õhusaaste normid:

ammoniaak- 20 ppm

süsihappegaas- 3000 ppm

väävelvesinik- 0,5 ppm

TARK LAUT ventileerimissüsteemi vooluhulkade erinevus talvisel ja suvisel on ca 30 kordne. Vastavalt minimaalsetele ja maksimaalsetele ventileerimisvajadustele (suvistes ja talvistes tingimustes) on ventilatsiooni süsteem loodud inimjõuga muudetavaks - ventilaatorid on kergesti manuaalselt suletavad.

Hoones kasvatatav tõug/liik	Minimaalne ventileerimisvajadus m ³ /h	Maksimaalne ventileerimisvajadus m ³ /h
Lihaveis (600 kg/isend) 50 tk	5000	12 500
Lihaveis (300 kg/isend) 50 tk	2750	9000
Lehm (500 kg/isend) 50 tk	2500	16000
Vasikas (300 kg/isend) 50 tk	1500	7500

Tabel 1 TARK LAUT talvine ventileerimisvajadus (pindala 500 m²)

Hoones kuivatatav biomass	Minimaalne ventileerimisvajadus m ³ /h	Kuivatusperiood h
Hein (50% vett) 100 t	140 000	48
Hein (80% vett) 100 t	180 000	72
Hein (30% vett) 100 t	120 000	24

Tabel 2 TARK LAUT suvine ventileerimisvajadus (pindala 500 m²)

TARK LAUT veisekasvatushoone soojusbilanss:

$$L_{\text{vent}} = 0,020 \text{ m}^3/\text{s} \times 50 \text{ Vasikas} = 1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ e. } 3600 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$N_{\text{vent}} = 1 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times \Delta T = 1 \times 1,2 \times 1 = 1,2 \text{ kW}$$

Veistelt eralduv vaba energia

$$N_{\text{vaba}} = 0,4 \times 50 = 20 \text{ kW}$$

Piire	Pindala	U, W/m ² deg	Soojuskadu W/deg
Lagi/sein	1050	1,4	1470
Otsasin	92,8	1,4	130
Uks	32	1	32
Kokku			1632

Tabel 3 Soojuskaod ühe kraadi (deg) kohta

	ΔT 10	ΔT 15	ΔT 20	ΔT 25
Soojuskadu läbi piirete	-16	-24	-32	-40
Ventilatsiooniõhu (1 m ³ /s) soojendamine	-12	-18	-24	-30
Loomadelt eralduv soojus	20	20	20	20
Otsene	17	20	24	24

päikesekiirgus (400 m ² , jaanuar)				
Hajuskiirgus (1050 m ² , jaanuar)	6	8	12	12
Kokku	15	6	0	-14

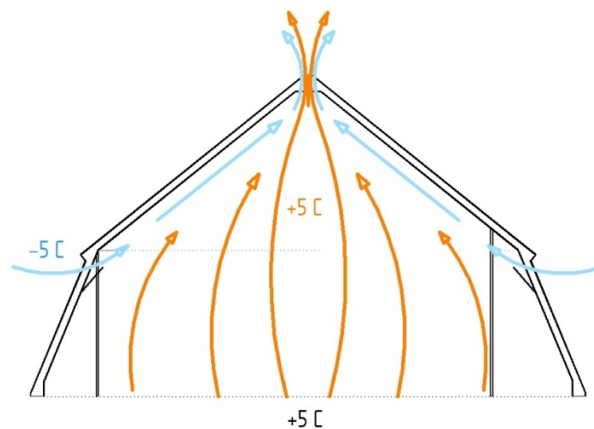
Tabel 4 Soojustatud lauda energiabilanss (kW)

Soojusbilansi arvutustes on võetud arvesse asjaolu, et madalamate temperatuuride puhul ei esine pilvisust. Otsese kiirguse võimsuseks arvestatakse ööpäeva keskmine 15 W/horizontaalsele pinnale, seega kiirgusega risti asetsev pind toodab 75 W/m².

Otsene päikesekiirgus = 400 m² x 75 W/m² x 0,8 (kattekihi läbivus) x 0,7 (neelduvus) = 16,8 Kw.

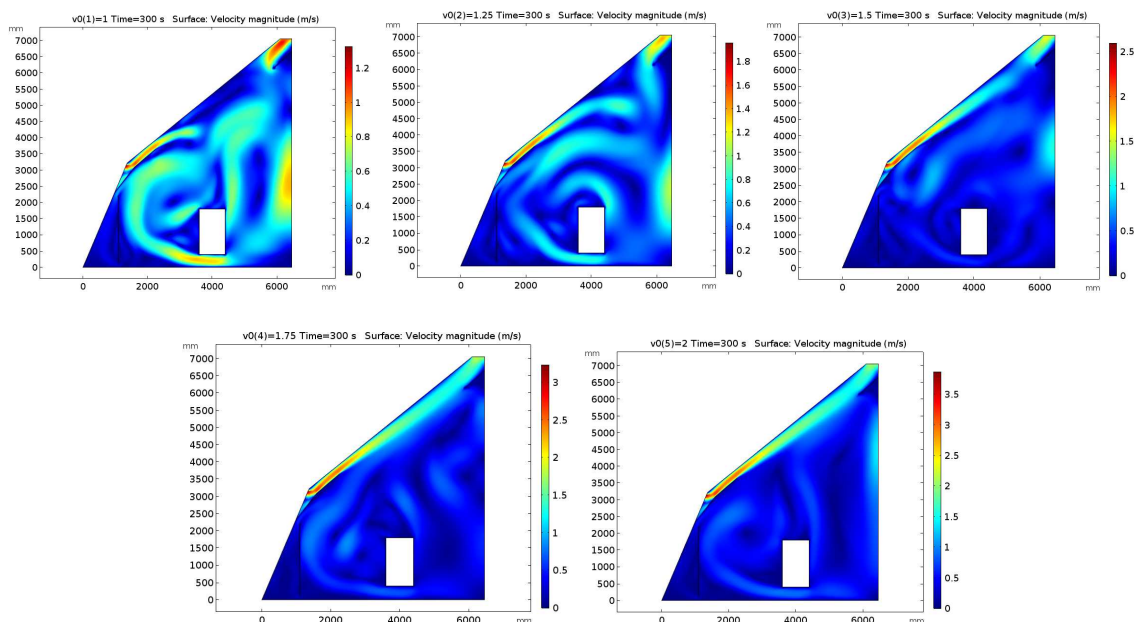
Vastavalt arvutustele püsib TARK LAUT hoone plusskraadides kuni 20 kraadise temperatuuride erinevuse puhul.

TARK LAUT ventilatsiooni energiaefektiivsus saavutatakse kasutades suunavaid õhujugasid, mis saastunud õhu suunavad katuse pinnaga paralleelsetesse katuse väljaviikudesse. Antud lahendus võimaldab minimaalse ventileerimise mahuga saavutada maksimaalne heitgaaside hoonest väljutamine.



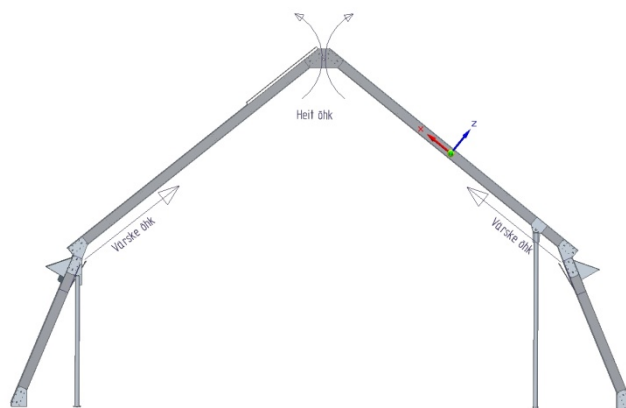
Joonis 36 Suunatud õhujoa rakendamine TARK LAUT hoones

Suunatud õhujoa põhineva ventilatsioonisüsteemi aluseks on projektis läbi viidud simulatsioonid:



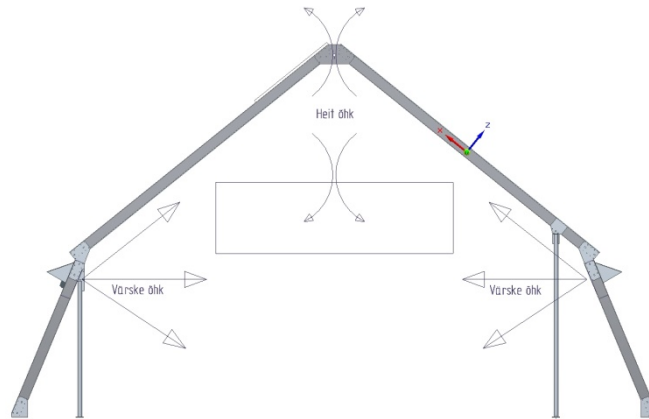
Joonis 37 Suunava õhujoa ristlõike simulatsioon (5 Pa alarõhul)

Talvine (loomakasvatuslik) sagedusmuundamise teel juhitud ventilatsioonilahendus, et eemaldada liigset niiskust ning tuua hoonesse hapnikku, koosneb seintel asetsevatest ventilatsioonimagraatidest (500 mm läbimõõduga telgventilaatorid), millel on sundventilaatorid seisatud ning sulgurkaane vahele jäetud õhusuundepilu, millega tekitatakse saasteõhu suunamiseks õhujuga. Katuse harjas asetsevad sundväljatõmbed, mis tagavad hoones kuni 25 000 m³/h õhuvahetuse. Lahend annab võimaluse suunata õhuvool piki lage kui ka vajadusel suunata õhuvool põrandale.

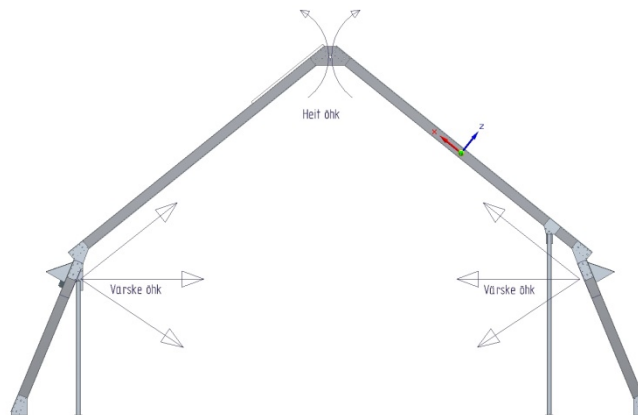


Joonis 38 Talvine (loomakasvatuslik) ventilatsioonilahendus

Suvel on TARK LAUT lahenduses ettenähtud õhuvahetusega reguleeritav jahutus süsteem. Suvine (kuivati) ventilatsioonilahendus põhineb samadel ventilatsiooniagregaatidel, mis ventileerivad hoonet talvisel ajal, kuid millel on sundventilaatorid töösendis ning puhuvad hoonesse välisõhku 240 000 m³/h. Niiske õhk lahkub hoone otstes asetsevatest avadest. Juhul kui hoones soovitakse kasutada kõrgtemperatuurset kuivatusprotsessi (üle +60C), tuleb võtta hoone harjal asetsevad väljatõmbeseadmed kasutusse ning seisata seinaagregaatide ventilaatorid.



Joonis 39 Suvine (kuivati) ventilatsioonilahendus. Niiske õhk lahkub hoone otstes ja katuse harjas asetsevatest avadest.

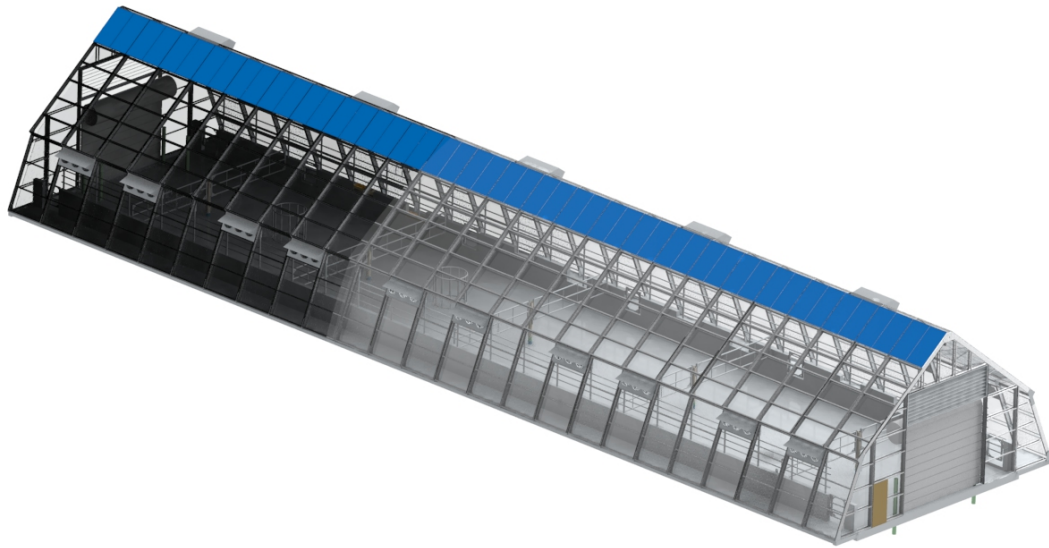


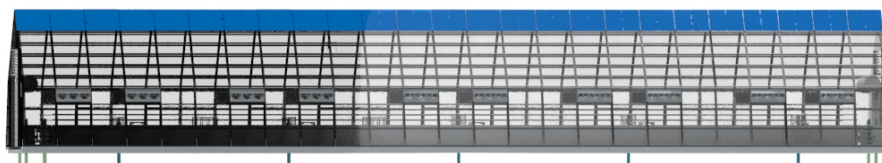
Joonis 40 Suvine (kuivati) ventilatsioonilahendus. Niiske õhk lahkub hoone katuse harjas asetsevatest avadest.

Passiivse (päikeseküttel) TARK LAUT lahenduse oluliseks erinevuseks võrreldes tavahoonetega on antud hoones õhuniiskuse taseme tagamine (40-60%), mis ei tekita kondensaati. Antud õhuniiskuse juures ei ole hallitussente vohamise ohtu ning õhus lendlevate tolmuosakeste osakaal on loomakasvatuse jaoks normide piires.

4. TARK LAUT 3D vaated

Rohkem vaateid ja illustratsioone loodud lahendusest on leitavad projekti kodulehel: www.FarmForFuture.com





This work is licensed under the Creative Commons Autorile viitamine + Mitteäriline eesmärk + Jagamine samadel tingimustel 4.0 Rahvusvaheline License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.