

## 5 KOKKUVOTE

Tänu kõrge struktuurilise jäikuse ja madala massi suhtele on *sandwich*-paneelid leidnud laialdast kasutus ehitusvaldkonnas ning viimase kümnendi jooksul olnud ka laevanduses tõusuteel. Kõrge suhe tuleneb *sandwich*-effektist, kus südamiku paksemaks muutes ja väliskihi katteplaate sellega üksteisest eemaldades suureneb jäikus marginaalselt, kuid paneeli kaal minimaalselt.

Töö esimeses pooles võeti vaatluse alla tüüpilised laevanduses kasutatavad kihilised komposiitpaneelid, võrreldi neid omavahel ja toodi välja mehaanilisi omadusi. Töö käigus kirjeldati ka võimalikke *sandwich*-paneelide purunemistüüpe. Nende teadmine on oluline konstruktsiooni disainimisel ja tugevuse analüüsimiseks

Töö teises pooles töötati välja analüütiline ja numbriline arvutusmeetod kihiliste komposiitpaneelide tugevuse arvutamiseks. Põhieesmärgiks oli välja töötada võimalikult võimalikult lihtne LEM arvutusmudel mis annaks kompetentse paindetugevuse hinnangu, optimeerides ajakulu. Arvutusmudeli valideerimiseks võeti aluseks artiklis „Experimental, Theoretical and Numerical Investigation of the Flexural Behaviour of the Composite Sandwich Panels with PVC Foam Core“ läbiviidud laboratoorse paindekatses andmed ja tulemused. Artikkel valiti, kuna katsetatud *sandwich*-paneel on laialdaselt kasutuses laevaehituse konstruktsioonides.

LEM mudel valmistati ette tarkvaraga FEMAP, kus analüüsi arvutusmudelit staatilisel koormamisel. Mittelineaarseks arvutuseks kasutati tarkvara LS-DYNA. Kõikide arvutustulemused võeti kokku peatükis 4.4, kus neid võrreldi laboratoorse paindekatses tulemusega. Väljatöötatud arvutusmudelite tulemused, paneeli jäikused, olid omavahel väga sarnased, kuid erinesid laboratoorse tulemusega vahemikus 13,2 ... 17,5 %. Erinevuse põhjuseks toodi välja, käsilamineerimismeetodi madal korratavus.

Jätkates käesolevat tööd, tuleks tähelepanu pöörata mittelineaarse arvutamismudeli täiustamisele, defineerides *sandwich*-paneeli südamiku mittelineaarsed omadused.

Autor peab antud tööd kasulikuks ja selle käigus õppis mõistma *sandwich*-paneeli paindekarakteristikat ning valmistama arvutusmudelit lõplike elementide meetodil. Välja töötatud arvutusmudelid on heaks aluseks edasisteks projektideks, kus on vaja anda kiire hinnang komposiit *sandwich*-paneeli paindetugevuse kohta. Autor täitis tööeesmärgid soovitud mahus.

## 6 SUMMARY

Due to the high bending stiffness and mass ratio sandwich panels are widely used in construction and for the last decade been on the rise also in the maritime industry. The high ratio comes from the sandwich effect, when thickening the core and therefore separating facings increases the bending stiffness significantly with only a small increase in weight.

In the first part of the thesis typical composite sandwich panels used in maritime industry were taken into focus, Different panels were compared to each other and their mechanical properties pointed out. Potential failure modes is was also presented during this research. The knowledge is needed for designing a composite panel structure and analysing its structural strength.

In the second part of the thesis analytical and numerical investigation was carried out for calculating composite sandwich panel bending stiffness. Main objective was to develop a FEM calculation model, which would be as simple as possible, to optimize time consumption, but would still output competent stiffness value. In order to validate calculation model laboratory bending test data and results from article "Experimental, Theoretical and Numerical Investigation of the Flexural Behaviour of the Composite Sandwich Panels with PVC Foam Core" were taken as the basis. That article was chosen because the sandwich panel that was tested is really common in the field of maritime industry.

The FEM model was prepared using software FEMAP, where prepared it was analyzed using statical load. Nonlinear calculation was carried out using software called LS-DYNA. Chapter 4.4 combines all the developed calculation model results and comparishes them with the experimental testing outcomes. The results of the developed calculation models were very similar to each other but vary with the experimental testing results ranging 13,2 to 17,5 %. The reason for this difference was stated due the low repeatability of hand layup process.

For continuing this reasearch, focusing on refining the nonlinear calculation model is recommended to define the nonlinear properties of the sandwich panel core.

The author finds the thesis useful and learned to understand the bending characteristics of the sandwich panel and to develope a calculation model based on finite element method. The developed calculation models are a good basis for upcoming projects, where a quick rating of the bending stiffness for the composite panel is needed. The author fulfilled the purpose of the thesis in the desired volume.