



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Väikelaevaehituse Kompetentsikeskuse materjali ja tehnoloogia laborite tehniline spetsifikatsioon

Jaan Kers



REGIONAALARENGU TOETUSEKS

Tallinn 2010

Sisukord

1. Uuringu taust	3
2. Eesti väikelaevade tootjad ja nende poolt kasutatavad materjalid	3
2.1 Alumiiniumist ja terasest väikelaevad.....	3
2.2 Komposiitplastist sandwich-tüüpi kerega jahid ja kaatrid	4
Joonis 1. Käsilamineerimine	4
2.3 Puidust aerupaadid, jahid ja kaatrid	6
3. Laborite eesmärgid ja rakendused.....	6
3.1 Laborite eesmärgid	6
3.2 Materjalilabori katsetusmetoodikate kirjeldused.....	7
3.2.1 Mehaaniliste omaduste määramine	7
3.2.2 Mittepurustav kontroll.....	8
3.2.3 Kliima, korrosiooni ja UV testid	10
4. Väikelaevaehituse kompetentsikeskuse materjali ja tehnoloogia laborite tehniline spetsifikatsioon.....	11
4.1 Laboriseadmete orienteeruvad hinnad ja investeeringute maht	11
4.1.1 Materjalilabori seadmed	11
4.1.1 Tehnoloogialabori seadmed	12
4.2 Laboritehnika paigutuse planeerimine, ruumivajadus ja eritingimused.....	14
4.3.1 Materjalilabori ruumid	14
4.3.2 Tehnoloogialabori ruumid.....	15
4.3 Laboritega seotud orienteeruvad jooksvad materjali-, ülalpidamis- ja hoolduskulud....	16
4.3.1 Materjalilabori jooksvad kulud	16
4.3.2 Tehnoloogialabori jooksvad kulud.....	17
4.4 Laboriteenuste hinnakalkulatsioon.....	18
4.4.1 Materjalilabori teenused.....	18
4.4.2 Tehnoloogialabori teenused	18
5. Kokkuvõte	20
6. Kasutatud allikad.....	21
Lisa 1 . Materjalilabori ruumiplaan ja seadmete paigutus	21
Lisa 2. Tehnoloogialabori ruumiplaan ja seadmete paigutus	22
Lisa 3. VLEKK materjalilabori teenused	23
Lisa 4 VLEKK tehnoloogialabori teenused	25

1. Uuringu taust

Uuringu eesmärgiks on Väikelaevaehituse Kompetentsikeskuse (edaspidi VLEKK) materjali- ja tehnoloogialaborite tehnilise spetsifikatsiooni välja töötamine. Selleks viiakse läbi vajadusuuring soetatava laboritehnika ja laborite sisustuse osas. Sellest tulenevalt planeeritakse ruumivajadus, eritingimused ning laboritehnika paigutus. Uuringu tulemusena koostatakse orienteeruvad hinnakalkulatsioonid materjali- ja tehnoloogialaborite investeeringute, palga- jooksvate materjali-, ülalpidamis- ja hoolduskulude kohta.

2. Eesti väikelaevade tootjad ja nende poolt kasutatavad materjalid

Veeteede Ameti poolt on Eestis väljastatud 214 (1 ettevõtte puhul on see 6 kuuks peatatud) tunnustamisotsust (2003-2010) ettevõtetele, kelle tegevusaladeks on väikelaevade ehitamine, katsetamine, tehniline ülevaatus ja remont.

Saaremaal tegutseb aktiivselt 12 Väikelaevaehituse ettevõtet (VLE): Luksusjaht AS, Baltic Workboats AS, Saare Paat AS, Alunaut OÜ, Lindvart OÜ, Kasse Paadid OÜ, Väike Paadivabrik OÜ, Tekno Marine Eesti OÜ, , Vätta Puit OÜ, Muvor OÜ,, Ranna Plast OÜ, Kompar OÜ. Sidussektorites tegutsevatest ettevõtetest on materjalidega kõige enam seotud Hilmaa OÜ, kus toodetakse väikelaevade detaile.

Vajadusuuring on teostatud VLE ettevõtete külastamise ja ümarlaua kohtumiste tulemusena, kus kirjeldati ära ettevõtete hetkeolukord, probleemid ning tulevikunägemus tehnoloogilise arengu ja materjalide katsetamise vajadusest.

2.1 Alumiiniumist ja terasest väikelaevad

Tootmine

Alumiiniumist ja terasest valmistatud töölaevade (patrullpaadid, sadamalaevad jt.) tootmisega tegeleb Saaremaal Baltic Workboats AS. Alumiiniumist lõbusõidulaevade (mootorjahid) tootmisega tegeleb Alunaut OÜ. Roostevabast terasest laevakeredetaile, reelinguid jt. detaile toodab Hilmaa OÜ.

Alumiiniumkerega töölaevade ja mootorjahtide tootjad kasutavad igapäevatoos alumiiniumist leht- ja rullmaterjale. Seejärel alumiinium lehtmaterjali lõõmutatakse paremini deformeeritavaks, painutatakse soovitud kujule ning liidetakse keevitusprotsessi abil laevakereks.. Keevisõmbluste kvaliteedihindamine ja keevitajate atesteerimine on tootmisprotsessi lahutamatuks osaks. Keevisliidetele teostatakse purustavat kontrolli (tõmbe- ja paindekatsed) ning mittepurustavat kontrolli (laevakere liidete ja nende elementide radiograafia, keevisõmbluse ultrahelikontrolli). Samuti atesteeritakse ka keevitajaid.

Vajadus materjalide katsetamisele ja tehnoloogia arendusele

Siiani ostavad alumiinium- ja teraskerega väikelaevade tootjad keevisliidete purustava ja mittepurustava kontrolli teenuseid sisse väljast ning sellele kulub aastas märkimisväärne summa. Ettevõtjate huvi on saada testimise tulemused kätte operatiivsemalt. Seepärast on ettevõtted huvitatud Saaremaale VLEKK juurde loodava materjalilabori katsetus- ja ekspertteenustest. Samuti vajavad ettevõtted VLEKK tehnoloogia-alast nõustamist ja abi keevitusprotsessi ja konstruktsiooni optimeerimise osas, et muuta tooteid tehnoloogilisemaks ja kergemaks.

Ettevõtete peamiseks tehnoloogiate arendusega seotud huviks on uute tehnoloogiate (laevakerede liimliited, sandwich- tüüpi kärpmaterjalid jt.) arendamine ja katsetamine VLEKK-is.

Üheks oluliseks probleemiks on ka metallist laevakerede kaitsmine korrosiooni eest, milleks pakutakse pinnakattematerjalide tootjate poolt välja uusi lahendusi. Selleks, et testida nende sobivust ja prognoosida laevakere keevisliidete vastupidavust, tuleks eelnevalt simuleerida keskkonnatingimusi kliima-korrosiooni kambris, mis annab VLE ettevõttele kindluse, et uued materjalid on vastupidavad ekstreemsetes tingimustes, kus laevad tööle peavad hakkama.

2.2 Komposiitplastist sandwich-tüüpi kerega jahid ja kaatrid

Tootmisprotsess – käsilamineerimine

Klaasplastist *sandwich*-tüüpi kere ja tekiga jahte ehitab käsilamineerimise teel Saare Paat AS, Lindvart OÜ. Tekno Marine Eesti OÜ kasutab oma tootmisprotsessis lisaks käsilamineerimisega ka pihustus-lamineerimist. Klaasplastist käsilamineerimise teel aeru- ja mootorpaate ehitavad Kasse Paadid OÜ, Kompar OÜ ja Ranna Plast OÜ. Muvor OÜ, kes valmistab Saaremaa laevaehitajatele ja teistele komposiitplasttooteid valmistatavatele ettevõtetele klaasplastvorme, kasutab oma tootmisprotsessis samuti käsilamineerimist.



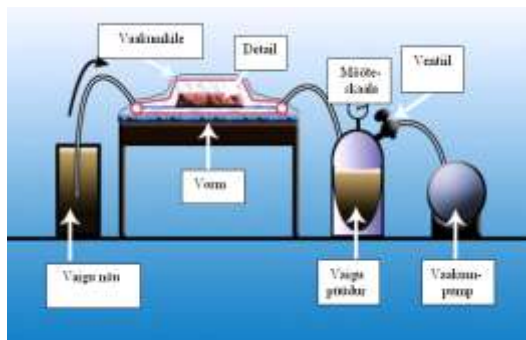
Joonis 1. Käsilamineerimine

Käsilamineerimisel avatud vormidega töötamisel eralduv stüreen on nii inimesele kui loodusele kahjulik. Tehnoloogia arengut tõukab tagant ka Euroopa Liidu ning rahvusvaheliste keskkonna- ja ohutusstandardite laiaulatuslikum rakendamine. Kasumlikkus, tootlikus ja eelmainitud nõuded on rajanud teed suletud vormiga valmistustehnoloogiatele – vaakuminfusioon ja *RTM* (*resin transfer moulding*).

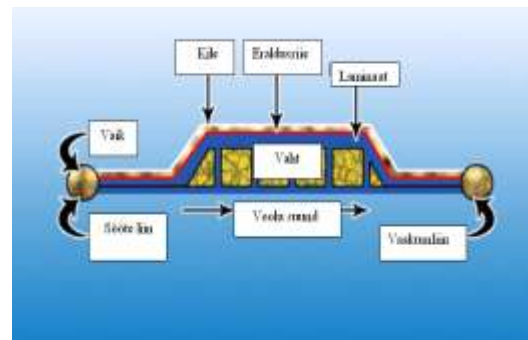
Tootmisprotsess – vaakuminfusioon

Klaasplastist ja süsinikplastist *sandwich*-tüüpi kerega jahtide ja kaatrite ehitamisel kasutab vaakuminfusiooni Luksusjaht AS. Vaakuminfusioonis kasutatakse alarõhku, et vaik imenduks klaaskiud sarrusesse (kangas matt), mis on kihiti asetatud vaakumkotiga suletud vormi. Vaik juhatakse vaakumpumba abil tekitatud alarõhu abil läbi laminaadi kihtide ja üleliigne vaik

koguneb vaigukogumisnõusse, mis on omakorda ühendatud vaakumpumbaga (vt. joonised 2 ja 3). *Sandwich*-detail on kaetud spetsiaalse vaakumkilega, kuhu paigaldatakse vaigutoitekanal ja vaakumkanal.



Joonis 2. Vaakuminfusioon protsess



Joonis 3. Vaigu juhtimine laminaadis

Vajadus materjalide katsetamisele ja tehnoloogia arendusele

Käsilamineerimise tehnoloogiat kasutavad ettevõtted on huvitatud jahi kerematerjali katsetamisest 3- ja 4-punkti paindele, mis võimaldab neil võrrelda omavahel erinevate materjalitarnijate tooteid ning teha tulevikus tugevusomadustel põhinevaid otsuseid. Lisaks on ettevõtted huvitatud liimliidete katsetamisest ning klaasplastist laminaadi optimeerimisest ja tugevusarvutustest. Senini on tootmisprotsessis kasutatava laminaadi spetsifikatsioon ja tugevusarvutused tellitud kas jahidisaineri või materjalide tootja käest, kes ei pruugi alati olla erapooletu. Väikelaevaehitajad on huvitatud VLEKK-i komposiitmaterjalide katsetusvõimaluse ning tugevusarvutuste teostamiseks vajaliku kompetentsi loomisest.

Üheks olulisemaks probleemiks komposiitplastist väikelaevaehitajatel on vee ja niiskuse imendumine klaasplastist laevakeresse, mis põhjustab tugevusomaduste langust 20-30%. Probleemi vältimiseks ja laeva kvaliteedi tagamiseks on oluline uurida laevakerematerjalide vastupidavust väliskeskkonna tingimustes. Võimalik lahendus on jahikere materjalide katsetamisvõimalus kliima- ja korrosioonikambrites.

Tehnoloogia arenduse osas soovivad ettevõtted ühiselt arendada *RTM-light* protsessi ning liitetehnoloogiaid. Muvor OÜ on hakanud arendama *RTM*-protsessi, mis seisneb kahepoolsete suletud vormide ja ülerõhu kasutamises toote vormimisprotsessil.

Ühe olulise teemana tuleb uurida korrosiooni probleeme süsinikplastist ja klaasplastist laevakerede ja kinnitusdetailide vahel. Süsinikplasti elektrijuhtivus tekitab laevaehituses peamiselt probleeme galvaanilise korrosiooni aspektist. Metallide normaalpotentsiaalide pingerea põhjal korrodeeruvad süsinikuga kontaktis olles enamik metalle, eriti hästi alumiinium, natuke vähem roostevabateras. Komposiitmaterjalide müüjad on välja arendanud erinevaid pinnakattematerjale ja plastist kinnitusdetailidele, mida on kvaliteedi tagamiseks optimaalne eelnevalt katsetada soolase vee ja kõrgendatud temperatuuri tingimustes. Keskkonnatingimusi saab simuleerida kliima-korrosiooni ja UV kambrites, mis annab teadmisi uute materjalide vastupidavuse kohta ekstreemsetes tingimustes, kus laevad tööle peavad hakkama. Keskkonnatingimuste mõju kohaselt on vajalik uurida komposiitmaterjalides kasutatavate dekooride ja jahilakkide UV-kindlust, mis tuleb päevakorda sisenemisel uutele turgudele, kus päikese intensiivsus on kordades suurem kui põhjamaades.

2.3 Puidust aerupaadid, jahid ja kaatrid

Tootmine

Puitkere ja tekiga aerupaate, mootorpaate ning kaatreid ehitavad ja taastavad Saaremaal Vätta Puit OÜ ja Väike Paadivabrik OÜ. Puidust laevakerede valmistamisel kasutatavad puidutislerid laudade painutamiseks kuumaauru ning seejärel naelutatakse laudad kere tugikaartele. Puitkerede välisviimistlusel kasutatakse puitosade konserveerimist ja jahikere lakke. Puidul ja puitspoonil on oluline osa ka klaasplastist *sandwich*-tüüpi kerega jahtide laevatekil ja siseviimistluses.

Vajadus materjalide katsetamisele ja tehnoloogia arendusele

Puulaeva ehitajad on huvitatud puidu mehaanilistest katsetustest ning konserveerimis- ja viimistlustehnoloogiate arendamisest. Kuna puulaevade ehitajad tegelevad ka laevakerede taastamisega, siis on eriti oluline adekvaatselt hinnata, milline osa laevakerest on väliskeskkonnatingimustes muutunud kasutuskõlbmatuks ja tuleb uue puitosaga asendada. Samuti on oluline viimistlemisel tagada uute puitosade ja vana puitkere kokkusobivus. Selleks tuleb katsetada ja uurida puidu vanandamisprotsesse.

3. Laborite eesmärgid ja rakendused

Eesti peab astuma sama sammu arenenud riikidega, kes püsivad maailma majanduses konkurentsivõimelise teadus- ja arendustööle, mitte odavale tööjõule. Innovatiivsete materjalide ja tootmismeetodite laialdasem kasutamine takerdub tihti teadmatusel, mitte arendustöö kalliduse taha, seega on VLEKK juurde loodavatel materjali- ja tehnoloogia laboritel täita oluline roll Eesti väikelaevaehituse ja selle sidussektorite arengus.

3.1 Laborite eesmärgid

VLEKK juurde loodavad materjali- ja tehnoloogialabor pakuvad tugiteenuseid nii laevaehitajate õpetamisele, materjalide ja toodete katsetamisele ning uute innovatiivsete tehnoloogiate arendamisele ja juurutamisele väikelaevaehitusega seotud ettevõtetes.. Loodavad laborid teevad tihedat teadus- ja tootearendusalast koostööd VLEKK tarkvara- (toote 3-D mudelid), elektroonikalabori (toote prototüübid) ning katsebasseiniga (mudelkatsete), mis omakorda võimaldab luua laborite vahelist sünergilist efekti ning arendada ja testida tooteid komplekssemalt

VLEKK juurde loodava materjalilabori eesmärkideks on:

- osutada materjali-, tootekatsetuse, ekspertiisi ja kvaliteedikontrolli alaseid teenuseid VLE ja selle sidussektorite ettevõtetele
- toetada VLE õppekava elluviimist läbi praktikabaasi
- tagada laboratoorne baas ja võimekus rahvusvaheliste arendusprojektide ja rakendusuringute läbiviimiseks.

VLEKK juurde loodava tehnoloogialabori eesmärkideks on:

- katsekehade valmistamine ja lõikamine VLE ettevõtetele, VLEKK materjali- ja elektroonika laboritele
- väikelaevade katsemudelite valmistamine ja lõikamine VLE mudelkatsebasseini testide läbiviimiseks

- VLE õppekava elluviimise toetamine läbi tehnoloogilise praktikabaasi
- Uute tehnoloogiate (valmistus- ja liitetehnoloogiad) ja materjalide arendusprojektide läbiviimne koostöös VLE ettevõtetega
- Laevakere ja teiste toote mudelite ning prototüüpide valmistamine VLE ettevõtetele

VLEKK materjali- ja tehnoloogialaborite poolt osutatavad teenused võimaldavad Eesti VLE sektori ettevõtetel kiirendada tootearendusprotsessi, muuta paremaks ja kvaliteetsemaks nii tooteid kui tootmisprotsessi. Oluline on luua VLE ettevõtete tekkimiseks ja kasvuks soodne keskkond väljaõppinud tööjõu, katse- ja tootearendusbaasi näol.

3.2 Materjalilabori katsetusmetoodikate kirjeldused

VLEKK juurde loodava materjalide katsetuslabori üheks väljundiks on ettevõtete toodangu kvaliteedi hindamine ja kontrolltestimine. Materjalilabor leiab kasutust ka väikelaevaehituse inseneride õpetamisel TTÜ Kuressaare Kolledžis ning rahvusvahelistes arendusprojektides.

3.2.1 Mehaaniliste omaduste määramine

Tõmbe-, surve-, painde- ja väändekatsed

Põhilisteks materjalide staatilise katsetamise moodusteks on tõmbeteim, surveteim, paindeteim ja väändeteim. Metallide puhul on painde- ja väändeteim harva kasutatavad, mistõttu eelkõige tõmbeteimil (malmi korral ka surveteimil) määratavad mehaanilised omadused on metallide valiku ja tugevusarvutuste aluseks. Lisaks katsetatakse tõmbele ka keevisliiteid ning nihketugevusele liimliiteid.

Polümeer- ja polümeerkomposiitmaterjalide katsetamisel leiavad kasutamist samuti tõmbe-, surve-, ja paindeteimid. Staatilise koormamisega määratakse tavaliselt siledate teimikute mehaanilisi omadusi. Tegelikult on detailid soonelised, astmelised, avadega, keermetega jne., mis avaldab olulist mõju reaalsele omadustele, eriti plastsusnäitajatele. Seetõttu pole alati võimalik sileda teimiku tõmbeteimi andmeid üle kanda konkreetsele detailile, mil pole ühtlane ristlõige. Detailides esinevad pingekontsentraatorid (*stress concentrator*) muudavad metallis pingelukorda ja tekitavad pingete kontsentratsiooni. Seega ei piisa alati ainult materjali katsetustest vaid mõningatel juhtudel on vaja katsetada ka toodet.

Materjalide ja toodete mehaaniliseks katsetamiseks kasutatakse universaalseid elektromehaanilisi või servo-hüdraulilisi katsetussüsteeme – metallide, polümeeride ka komposiitmaterjalide (klaasplast, süsisnikplast) katsetamiseks. Paindekatsete ja tootekatsetuste läbiviimiseks kasutatakse ostutooteid või projekteeritakse ning valmistatakse spetsiaalsed katsetusrakised, mis tagavad jõu mõjumise õiges suunas.

Roome ja pinge relaksatsioon

Polümeer- metalsetel materjalidel esineb teatud töötingimustel, kõrgendatud töötemperatuuril koos staatilise koormusega või lihtsalt staatilise koormuse mõjul materjali deformatsioonid (roome, pinge relaksatsioon), mis on ajast sõltuvad. st suurenevad aja möödudes aeglaselt.

Roomet ja pinge relaksatsiooni võimaldab uurida materjalide mehaaniliste omaduste kõrgtemperatuurne katsetamine, kasutades katsekehade kuumutamiseks spetsiaalset termokambrit neile samaaegselt mehaanilist jõudu rakendades.

Roome ja pinge relaksatsiooni uurimiseks kasutatakse samuti universaalseid elektromehaanilisi või servo-hüdraulilisi katsetussüsteeme ning nendele paigaldatavaid

termokambreid, mis võimaldavad tõmbe, surve ja paindekatsed läbi viia toa temperatuurist madalamal või kõrgemal temperatuuril.

Kõvadus

Enamlevinud mooduseks on kõvaduse mõõtmine indentori sissesurumise teel. Indentori küllalt suure jõuga sissesurumise tagajärjel deformeeritakse materjali pinnakihti plastselt seda peamiselt metalsete materjalide puhul. Peale koormuse kõrvaldamist jääb materjali pinnale jälg. Elastsete materjalide korral ei pruugi mõõdetavat jälge jääda. Mida väiksem on kõvadus, seda sügavamale tungib indenter ja seda suurem on jälg. Polümeerimaterjalide puhul saadakse kõvadusarv indentori sissetungimissügavuse järgi st jälje suurust eraldi ei mõõdetata. Erinevalt metallidest on polümeeride puhul kõvadusarv väga suurel määral mõjutatud katsetustingimustest (katsekeha temperatuur ja niiskussisaldus) ja –metoodikast (koormamiskiirus, aeg, indentori tüüp).

Levinud on mitmed kõvaduse määramise meetodid. Meetodi valik põhineb katsetataval materjalil ja on paljuski välja kujunenud nt. teraste puhul kasutatakse Rockwelli C skaalat, Al-sulamite puhul Rockwelli B-skaalat, kõvasulamite puhul Vickersi kõvadust, plastide puhul kuul- või Rockwelli kõvadust (R, L, M, E skaala). Erinevatel katsetusmeetoditel saadud kõvadusarvud ei ole üks-ühele vahetatavad. Materjalide kõvaduse mõõtmine võimaldab teraste puhul hinnata termilise töötlemise (karastamine, noolutus) ja alumiiniumi puhul (lõõmutus, vanandamine) mõju materjali kõvadusele.

Materjalide kõvaduse määramiseks kasutatakse metallide (Rockwell), plasti (Barcol) ja puidu (Janka) kõvaduse määramisel erinevaid kõvadusmõõtureid ja duromeetreid.

3.2.2 Mittepurustav kontroll

Mittepurustava kontrolli meetodid (MPK-meetodid) on oluline osa erinevate materjalide ja toodete kvaliteeditagamise protsessist. Peamiseks väikelaevaehituses kasutatavateks MPK meetoditeks on radiograafia ja ultrahelidefektoskoopia, mis võimaldavad hinnata defekte nii alumiinium kui ka komposiitplastist laevakeredes. Teisteks MPK viisideks on magnetpulbermeetod (valdavalt ferromagneetilised materjalid), pöörivoolumeetod (põhineb elektrijuhtivusel) ja kapillaardefektoskoopia (ei sõltu ferromagnetismist ja defektide asendist). Viimasest kolmest sobib laevakerede keevisliidete kontrolliks vaid kapillaardefektoskoopia, mis võimaldab avastada vaid pinnale avanevaid vigu.

Radiograafia meetodid

Radiograafia on üldine nimetus materjalikontrolli meetoditele, mis baseeruvad kiirguse neeldumiserinevustele (tiheduses, materjali paksuses, absorptsioonomadustes) kontrollitavas objektis [4]. Radiograafia all käsitletakse peamiselt kahte meetodit [5]:

- Radiograafia filmile või paberile: (kseroradiograafia): mitteneeldunud kiirgus talletatakse paberile või filmilindile ning ilmutatakse kujutise nähtavaks tegemiseks.
- Radiograafia reaajas: kontrollitavast kehast saadakse 2-mõõtmeline kujutis ekraanile

Tööstuslikult kasutatakse radiograafiat nii reaajas kui ka röntgenpildi jäädvustamiseks röntgenfilmile (filmilindina või lehtedena 10...50cm²). Radiograafiat kasutatakse masinaehituses toodete keevisõmbluste ja valandite kontrollis, avastamiseks sisemisi defekte (pragusid, poore, erinevusi koostises).

Katsetamisel välistingimustes võib pakuseinalise konstruktsiooni läbivalgustamiseks kuluv aeg olla üsna pikk. Radioaktiivse kiirguse (γ -kiirguse) allikad on oma võimsuselt piiratud peamiselt ohutusnõuete tõttu – kõrge aktiivsusega allikad eeldavad massiivseid kaitseekraane, mida välistingimustes ei saa kasutada. Portatiivsetest röntgenaparaatidest saadav kiirgus on suhteliselt väikese võimsusega (200-400 kV), mistõttu on välistingimustes kontrollitava konstruktsiooni puhul piiranguks teraslehe paksus kuni 10 mm [4]. Paksema materjali puhul kasutatakse suurema kiirgusvõimsusega gammadefektoskoopiat. Lahendusena kasutatakse lineaarkiirendeid ja beetatrone, mis toodavad röntgenkiirgust võimsusega (>1 MV).

Radiograafia abil on võimalik avastada defekte, mis põhjustavad vähemalt 2% paksuserinevuse võrreldes põhimaterjaliga. Radiograafia puuduseks on ebasobivast asendist tingitud pragude (laminaardefektide) avastamine. Radiograafiat eelistatakse suurte ruumiliste objektide mittepurustaval kontrollil materjali sisemiste defektide määramisel. Ühes tasapinnas materjali defektide avastamiseks kasutatakse enam ultrahelidefektoskoopiat [4]. Radiograafiat rakendatakse ka pooljuhttööstuses joodiste kontrollis. Radiograafiat on hakatud kasutama ka komposiitmaterjalide kontrollimisel.

Ultrahelimeetod

Impulss-kaja meetod on enimlevinud ultrahelidefektoskoopia (UHD) meetod. Meetod sarnaneb oma olemuselt laevanduses kasutatavale kajalokatsioonile, erinevus seisneb vaid dimensioonides. UHD-s kasutatakse heli sagedusega 0.5-15 MHz, metallide kontrolliks enamasti 2-5 MHz. Pikilaine on kõigist lainevormidest kõige suurema levimise kiirusega. Heli levimise kiirus pikilainena on terases 5900 m/s. Pikilaineid kasutatakse paksusmõõtmises, materjalide ja keevisliidete kontrollis. Ristilainete kiirus materjalis on umbes pool pikilaine levimise kiirusest, mis terase puhul on 3240 m/s. Ristilainet kasutatakse enim nurgasondides keevisliidete kontrolliks.

UHD võimaldab teoreetiliselt avastada defekte, mille mõõtmed on suuremad kui $\lambda/2$. Võttes arvesse vaid kaja andva defekti mõõtmed, peegeldub suurem defekt rohkem UH tagasi kui väike. Eri suurusega defektid peegeldavad UH erinevalt. Kerakujuline poor peegeldab UH tagasi igas suunas ühtmoodi. Tasapinnaline defekt aga peegeldab UH tagasi vaid ristsuunas. Praktikas ei ole defektide kuju aga reeglipärane. UHD-s püütakse alati saata UH risti oletatava defekti pinnaga. Sellisel juhul on defekt kõige kergemini avastatav ja defekti kuju, suud ning mõõtmed mõjutavad kaja sel juhul kõige vähem [4].

Ultrahelilaine energia väheneb materjali läbides ning laine sumbub. Sumbumine on tingitud ultrahelivihu üha laiemast avanemisest, tehtavast tööst materjaliosakeste liikumapanemiseks (neeldumiskaod) ja sumbumine tingituna hajumisest e. sädelusest [6]. Metallilistes materjalides pole ultrahelilainete (UHL) neeldumine ja hajumine piiravateks teguriteks, sest UH seadme võimendusnäitajad on piisavad nendest tingitud sumbumise kompenseerimiseks. Mõningates mitte-metallsetes materjalides (termoplastid, komposiitplastid, kummid) võib UHL neeldumus olla väga suur [4].

Materjali paksuse mõõtmine UH meetodil

Tootmisprotsessis kasutatakse UH paksusmõõturit lehtmaterjali kontrolliks (laminaatdefektide otsimine), kulumise ja sööbimise avastamiseks. Materjali paksust saab mõõta UH-defektoskoobi või spetsiaalse UH-paksusmõõtjaga [4]. Digitaalsetel UH-defektoskoopidel on piiravaks teguriks ekraani kuvamissagedus 50 Hz. UH-paksusmõõturite ekraani kuvamissagedus ja UH impulsside sagedus on tavaliselt sama, ca. 4 Hz normaalse ja 16-20 Hz kiire mõõterezüümi korral. UH-paksusmõõturi sondi saab liigutada üle 10 korra

aeglasemalt üle uuritava pinna (1-2 cm/s) kui UH-defektoskoobi sondi [6]. Ühekristalliliste normaalsondide sagedus on vahemikus 0.5-15 MHz ja mõõtmised 3-100mm. Tavapärase mõõtesagedus on 4-5 MHz, mis võimaldab mõõta torude seinapaksusi >5mm [4]. Võimalik on mõõta ka õhemaid materjale kasutades viivituskeha, mille abil saab 15 MHz sageduse juures mõõta juba 0.2mm paksust materjali. Viivituskeha kasutatakse ka kuumade pindade mõõtmiseks. Mõõtmistäpsuse tagamiseks on oluline kasutada samast materjalist ja samade kõverusraadiustega justeerimiskeha (tasapinnaline, silindriline, astmeline) [4].

Kapillaarmedodid

Kapillaardefektoskoopia (KD) on MPK meetod pinnale avanevate defektide (praod, ülekate, gaasipoorid, kahanemistühikud, kihistumine jt.) avastamiseks, mis on rakendatav mittepoorsete materjalide korral. KD korral kasutatakse peamiselt kahte tüüpi penetrante (punane kontrastvärv ja fluorestseeruv kontrastvärv), mis tungivad peale pinnale kandmist materjali väliskihis olevatesse defektidesse, mis on inimsilmale raskesti nähtavad (< 50µm). Avastatavate defektide mõõtmised: prao laius 0.2-1µm ja sügavus 10-20µm) [4]. Fluorestseeruva värvi puhul tuleb kasutada ultravioletvalgust. Fluorestseeruva meetodi suurem usaldusväärsus on tingitud sellest, et inimese silma tundlikkus pimeduses asuva väikese valgusallika suhtes on palju suurem kui värvikontrastist lähtuv eraldusvõime. Siiski on defektide avastamiseks keemisliidetes (teras, alumiinium) valdavalt kasutusel punase kontrastvärvi meetod, mida on odavam ja lihtsam kasutada nii väli- kui sisetingimustes. Tingituna penetrandi eemaldamisega seotud probleemidest kasutatakse meetodit väiksemate pindade kontrollimisel

Materjali sisemuses olevaid defekte kapillaarmedodid aga avastada ei võimalda ja selleks tuleb kasutada, kas radiograafia või UHD meetodeid.

3.2.3 Kliima, korrosiooni ja UV testid

Kõigi materjaligruppide polümeer-, komposiit- ja metallmaterjalide puhul on oluliseks teemaks korrosioonikaitse. Metallmaterjalidel on oluline kaitsta keemisliiteid oksüdeerumise eest ning vältida nende hävimist keskkonnamõjude toimel. Eriti oluline on see merenduses, kus soolane merevesi on väikelaevadele igapäevane töökeskkond. Süsinikplastide kasutuselevõttuga on tekkimas ka uued probleemid, kus alumiinium ja teras korrodeeruvad. Oluline on vältida galvaanilisi paare (anood-katood) liitekohtades, mis põhjustavad metallide hävinemist elektrolüüsi teel merevees. Veesõidukite puhul korrosiooni vältida on praktiliselt võimatu, küll aga saab selle eest oma veesõidukit kaitsta anoodide (Zn) või pinnakattematerjalidega ning protsessi aeglustada.

Korrosiooni soodustavad tingimused tekivad just soojas ja soolases merevees. Külma ja mage vesi on laevadele ohutum. Korrosiooni protsessi uurimiseks on vaja simuleerida merevee keskkonnatingimusi, milleks sobib hästi kliima-korrosiooni kamber, kus saab varieerida nii temperatuuri, õhuniiskust kui ka pritsida materjali või toote välispinnale vee ja soolasegu. Kliima-korrosiooni kambris on võimalik testida erinevaid lahendusi laevaehitusmaterjalide või keemis- ning poltliidete kaitsmiseks korrosiooni eest.

4. Väikelaevaehituse kompetentsikeskuse materjali ja tehnoloogia laborite tehniline spetsifikatsioon

4.1 Laboriseadmete orienteeruvad hinnad ja investeeringute maht

Katseseadmete valikul ei saa alati lähtuda ainult põhiseadme hinnast, sest arvesse tuleb võtta ka seadmega koos müüdavate rakiste, lisatarvikute tarkvara, ja koolituse hindu ning seadmete paigaldus- ja hoolduskulusid, mis lisanduvad põhiseadme hinnale.

Käesolevas uuringus toodud orienteeruvad hinnad ei sisalda käibemaksu.

4.1.1 Materjalilabori seadmed

.Seadmete kasutamisel ilmnevate tehniliste või tarkvaraliste probleemide korral on oluline välja selgitada tootja poolt pakutava tehnilise konsultatsiooni ning remondimehe väljakutse võimalus ja nende teenuste maksumused. Seetõttu on labori katseseadmete maksumused Tabelis 1 esitatud miinimum ja maksimum väärtustena.

Hindade täpsustamine on võimalik peale VLEKK laborite seadmete ja sisustuse hanke pakkumiskutse saatmist laboriseadmeid müüvatele ettevõtetele. Kõige suuremaks investeeringuks on plaanitud universaalse 30 kN mehaanilise katsetussüsteemi soetamine, mis võimaldab läbi viia, tõmbe-, surve-, painde-, ja väsimuskatseid plastide, komposiitmaterjalide, alumiiniumi ja madalsüsinikterasest katsekehadega. Teiseks oluliseks investeeringuks on keevliidete ja materjalide mittepurustava kontrolli seadmed, millega kaasnevad ka koolituskulud. Kolmas oluline investeering on suunatud kliima-korrosiooni ja UV-kindluse testimiskambrite soetamisele.

Tabel 1. Materjalilabori seadmete hinnapiirid ilma käibemaksuta

Jrk. nr.		min hind	max hind
Mehaanilised katsed:			
1	30 kN elektromehaaniline katseseade – metallide, polümeeride, KM katsetamiseks.	900 000	1 200 000
2	Painderakis	10 000	20 000
3	Kõvadusmõõtur (Janka)	50 000	65 000
4	Shore duromeeter (Barcol)	25 000	30 000
5	Värvipaksuse mõõtur	30 000	50 000
Keskkonna mõju			
6	UV-kiirguse simulatsioonikapp	150 000	200 000
7	merekeskkonna simulatsioonikapp välistingimuste mõju hindamiseks	500 000	600 000
Füüsikaliste omaduste mõõtmise ja määramine			
8	metallimikroskoop	25 000	30 000
9	puidumikroskoop	25 000	30 000
18	Portatiivne niiskussisalduse mõõteseade klaasplastile	30 000	35 000
20	Puidu niiskusemõõtjad	5 000	10 000

	(konduktsioon, induktsioon)		
21	Infrapuna termomeeter (kontaktivaba)	4 000	7 500
17	Kaal materjali tiheduse määramiseks	15 000	20 000
	Mittepurustav kontroll keevisliidetele ja materjalidele		
10	Ultraheli kontrolli seade Al keevisliidetele	200 000	250 000
11	UH kontrolli alane koolitus	40 000	60 000
12	Radiograafilise kontrolli seade	700 000	1 000 000
13	Radiograafilise kontrolli koolitus	40 000	60 000
14	Töönurk	200 000	225 000
15	Väikevahendid	23 000	25 000
	Seadmete maksumus kokku :	2 967 000	3 917 500
	Seadmete transport, kindlustus:	200 000	220 000
	Kõik kokku:	3 167 000	4 137 500

Tabel 1 põhjal on materjalilabori katsetus- ja mõõteseadmete soetamiseks vajalik investeering ligikaudu 2,9 – 3.9 mEEK. Lisaks materjalide katsetusseadmetele on materjali labori juurde vaja luua ka töönurk, kus saab teostada katsekehade viimistlustöid, töötada pihustatavate värvidega ning kasutada ohutult kemikaale. Peale pihustatavad penetrandid ja kontrastained on kasutusel keevisliidete kapillaarkontrollis, mida hakatakse teostama rutiinse katsena. Töönurgas saavad olema töölaudad elektritööriistadele ning tõmbekapp tööks kemikaalidega, mida on vaja katsekehade puhastamisel või söövitamisel kasutada. Oluline on lõiketööriistade kohal tagada kohtäratõmme. Materjalilabori töönurga loomisega seotud investeeringud kokku on plaanitud 225 000 krooni, millest suurema osa moodustab tõmbekapp 120000 krooni.

Lisaks tuleb labori loomisel osta ka isikukaitse- ja väikevahendeid (nihikud, kruvikud jt. käsimõõteriistad) summas 25000 krooni. Sõltuvalt seadmete ja nende lisade valikust on hinnatav materjalilabori investeeringute maht kokku on **3,2 - 4,1 mEEK**.

4.1.1 Tehnoloogialabori seadmed

Tehnoloogialabori eesmärgiks on osutada katsebasseinile, materjalide ja elektroonsete süsteemide laboritele vajalikke teenuseid (tootearenduseks vajalike komponentide, katsekehade ja laevamudelite tootmine). Tehnoloogialabor on õppebaasiks laevaehituse inseneridele, kes omandavad praktilisi töövõtteid ja kogemusi erinevate materjalide (puit, metallid, plastid ja komposiitmaterjalid) ja nende töötlemistehnoloogiate (valmistustehnoloogiad, lõiketöötlemine, keevitamine) alal. Tehnoloogialabori seadmete hinnakalkulatsioonis (vt. Tabel 2) on seadmetele antud esialgsetest hinnapäringutest selgunud hinnavahekud. Hindade täpsustamine on võimalik peale VLEKK laborite seadmete ja sisustuse hanke pakkumiskutse saatmist tehnoloogilisi seadmeid müüvatele ettevõtetele. Tabelis 2 on ära märgitud ka Kuressaare Ametikooli (KAK) õppelaborites olemasolevad seadmed, mida VLEKK saab kasutada ettevõtetele teenuste osutamisel.

Tabel 2. Tehnoloogialabori seadmete hinnapiirid ilma käibemaksuta

Nr.	Tehnoloogia labor:	min hind	max hind	Olemas KAK-is
1	CNC (5 telge)	2 000 000	4 000 000	-
2	Light RTM kontrollpult	200 000	230 000	-
3	Al-sulatuse jaoks ahi 900 °C	35 000	50 000	-
4	Al vanandamis-noolutamisaahi ahi 650 °C	52 000	60 000	-
5	Valtsid- 2 tk	15 000	25 000	-
6	Lihne mehaaniline press (30T)	75 000	100 000	-
7	Käsilamineerimise jaoks vajalikud tööriistad	2 000	3 000	-
8	Vaakuminfusiooni jaoks vajalikud tööriistad	8 000	10 000	-
9	Klaasplastvormid	50 000	100 000	-
10	Lõiketerad CNC, treipink freespink	20 000	32 500	-
11	Külmkapp prepregide ja vaikude hoidmiseks	6 000	10 000	-
12	Kuumutatavad pressvormid	75 000	100 000	-
12	Vaakumpump			1
13	Kompressor			1
14	Dekooripüstolid/värvipüstolid			1
15	Kuivatuskapp	30 000	40 000	-
16	Giljotiin metalli ja puiduspooni lõikamiseks			1
17	Metalli treipink Al katsekehade valmistamiseks	75 000	100 000	-
18	Freespink Al katsekehade valmistamiseks	75 000	100 000	-
19	Lintsaaig komposiitplasti lõikamiseks			1
20	Al keevitusaparaat	40 000	50 000	-
21	Keevitustöökoht	20 000	30 000	-
21	Infrapuna termomeeter (kontaktivaba)	4 000	7 500	-
22	Töökohtade loomine ja isikukaitsevahendite soetamine	45 000	50 000	-
Kõik kokku		2 827 000	5 098 000	-
Seadmete transport, kindlustus:		230 000	260 000	
Kõik kokku:		3 057 000	5 358 000	

Tabel 2 põhjal on tehnoloogialabori seadmete soetamiseks vajalik investering ligikaudu **3,1 – 5.4** mEEK. Lisaks seadmetel on veel ka ettenähtud labori üldkuludeks 50 000 krooni, mis on seotud töökohtade loomise ja isikukaitsevahendite soetamisega.

Olulisemateks investeeringuteks on plaanitud 5-teljelise CNC töötlemiskeskuse ja RTM kontrollpuldi soetamine. CNC pinki hakatakse kasutama vahtplastist tooteprototüüpide, laevamudelite ja elektroonika-mehaanika detailide valmistamiseks. Keeruka kujuga laevamudelite freesimiseks ei sobi 3D CNC pingid, kuna mudelit ei saa liimida kihiti vaid tuleb välja freesida tervikuna vahuplokist. Lisaks saab seadet kasutada ka õppeotstarbel nii kutseharidustasemel kui inseneriõppes (CAM programmide koostamine tarkvaralaboris loodud 3D tootemudelitele).

5-telejeline CNC pingi soetamise puhul kaalutakse võimalust ka kasutatud töötlemiskeskuse soetamiseks, milleks on arvestatud 2 mEEK. Juhul kui soetada uus CNC pink, siis selle orienteeruv maksumus oleks 4 mEEK. Plaanitud robotkäsiarrega CNC pingi vaakumlaua suuruseks on 3x1 meetrit ning töötlemiskõrguseks 0,5m, mis tuleneb mudelkatsebaseini katsemudeli maksimaalsetest mõõtmetest.

Light-RTM kontrollpult võimaldab väiksematel VLE ettevõtetel tehnoloogiliselt ja kvalitatiivselt edasi areneda ja katsetada kahepoolseid vorme toodete valmistamisel vaigu injekteerimise teel. *Light-RTM* kontrollpult võimaldab segada ja doseerida vaiku ja kõvendit vahetult enne selle vormi pritsimist tagades toodete parema kvaliteedi, sest selle tulemusena saadavad tooted ei vaja enam täiendavat viimistlust.

4.2 Laboritehnika paigutuse planeerimine, ruumivajadus ja eritingimused

4.3.1 Materjalilabori ruumid

Materjalilabori kogupindala on 50m², millest katsetusruum moodustab 31m², töönurk ja keevisliidete kapillaarkontrolliruum 11m², ning radiograafia laboriruum 8m². Materjalilabori ruumides tuleb tagada töötemperatuur 23°± 1°C ja suhteline õhuniiskus 50%.

Kõige olulisemad nõuded on aga kehtestatud radiograafia laborile, mis oleks soovitatav võimaluse korral viia eraldi ruumidesse asukohaga, kas poolenisti või täielikult maa all. Radiograafia on teiste MPK meetodite võrreldes suhteliselt kallis, sest kulutused seadmetele ja piisava suurusega radiograafialabori ruumi sisustamisele on küllaltki suured. Samuti on suured tööjõukulud, sest 60% kontrolliajast kulub seadmete ülesseadmisele.

Ruumis, kus toimub röntgenfilmi vaatlemine, kasutatakse spetsiaalset taustvalgustust. Ruumi üldvalgustus peab olema võimalikult vähene. Nõutavad on korduvad nägemistestid katsepersonalile. Radioaktiivne kiirgus suurema doosina on kahjulik inimorganismile, seega tuleb labori planeerimisel rangelt järgida ja katsetamisel täita kõiki seadmetele ja kontrollile esitatud ohutusnõudeid, mis on sätestatud kiirguskaitsealases seadusandluses:

- **Kiirgusseadus** (RT I 2004, 26, 173)
- 13 määrust
- Kiirgustegevusloa andmise, muutmise ja kehtetuks tunnistamise menetluse tähtajad ning kiirgustegevusloa taotluse täpsustatud nõuded, vormid ja kiirgustegevusloa vormid (RT L 2004, 57,952)
- Kiirgustöötaja kiirgusohutuslase koolituse nõuded (RT L 2004, 97, 1524)
- Kiirgusallika asukohaks olevatele ruumidele ja kiirgusallika märgistamisele ning kiirgustööde teostamise tööeeskirjadele esitatavad nõuded (RT L 2004, 122, 1892)

Kiirgustegevus on mis tahes tegevus, mis suurendab või võib suurendada inimese kiiritust tehisallikate kiirgusest või looduslikest kiirgusallikatest:

- radioaktiivse aine tootmine, töötlemine, kasutamine, omamine, ladustamine, vedu, riiki sisse- ja riigist väljavedu ning ajutine või lõpladustamine;
- ioniseerivat kiirgust emiteeriva ja suurema kui viie kilovoldise potentsiaalide vahe juures töötava elektriseadme kasutamine

Kiirgustegevusluba peab taotlema kiirgustegevuseks, sealhulgas:

- röntgenseadme või radioaktiivse aine kasutamiseks tööstuslikus radiograafias ja röntgenograafias, toodete töötlemisel, teadusuuringutel ning kiirendite kasutamiseks, välja arvatud elektronmikroskoopide kasutamiseks [11];

Kiirgustegevusloata võib kasutada elektriikiirgusseadet tingimusel, et selle seadme poolt tekitatav doosikiirus tootja antud juhendile vastavates kasutustingimustes **0,1** meetri kaugusel seadme pinnast ei ületa **1 mikrosiivertit tunnis** ja seadmel on kehtiv tüübikinnitus [11].

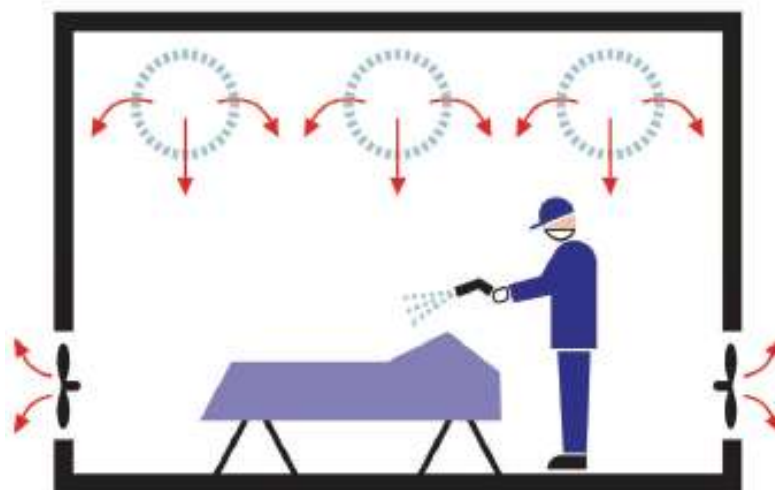
Radiograafialet tuleb sisse seada eraldi laboriruum, mille ehituslikud tingimused vastavad seadusandluses esitatud nõuetele. Statsionaarne **elektriikiirgusseade** paikneb eraldi ruumis, välja arvatud elektriikiirgusseade, mida kasutatakse meditsiinilises diagnostikas ja millega töötamiseks tuleb kiirgustöötajal olla vahetult samas ruumis, või elektriikiirgusseade, mille konstruktsioon või kasutuseesmärk välistab selle normaalses töötingimustes kiirgusdooside kehtestatud piirmäärade ületamise [12]. Lisaks tööruumile peab laboris olema pimeruum filmide ilmutamiseks. Pimedat ruumi UV valgusega on vaja ka pragude avastamiseks fluoressentsmeetodil.

Materjalilabori seadmete ruumipaigutus ja ruumivajadus on toodud lisa 1.

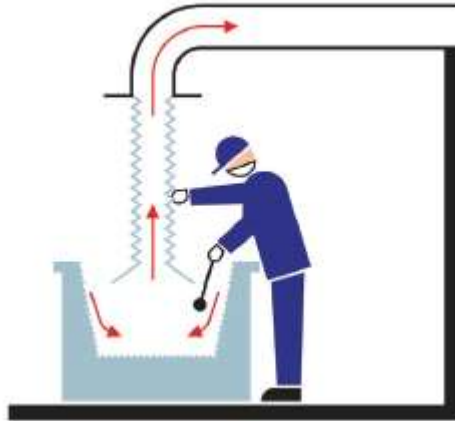
4.3.2 Tehnoloogialabori ruumid

Tehnoloogialabori ruumid jagunevad kolmeks: komposiitmaterjalide valmistamis- ja töötlemisruumid pindalaga 90m², metallide töötlemisruum koos 5-teljelise CNC töötlemiskeskusega on pindalaga 54m², ning lisaks siis komposiitplastist, puust ja metallist detailide viimistlusruum pindalaga 90m². Lisaks oleks vaja riietusruumid koos sanitaarsõlmedega 21m², tehniline seadmete ruum 21 m² ja täiendavat laopinda nii tule- kui plahvatusohtlikele ainetele 12m² ning laopinda materjalidele 12m². Kuna paatide ja väikelaevade mudelid on gabariitidelt suured 4-9 m pikad, siis soovitatakse täiendava laopinnana veel arvestada 90m² erinevatele mudelitele/vormidele. Sõltuvalt ruumide ehituslikust eripärasest võib projekteerimisel ilmuda täiendav ruumivajadus kuni 50 m². Tehnoloogialabori ruumide kogupindalaks on arvestatud **400-450 m²**.

Oluline on komposiitmaterjalide valmistusruumis tagada korralik ventilatsioon, mille lahendusnäited on toodud Joonistel 4-5.



Joonis 4. Soovitatav ventilatsiooni lahendus dekoori pihustamine vormile



Joonis 5. Detaili käsitsilamineerimisel soovitatav ventilatsioon

Kõige olulisem on polüestervaikudega töötamise puhul jälgida, et õhuvahetus käsilamineerimistöodel oleks piisav. 18 °C ruumitemperatuuril on stüreeni (õhust 3.6 korda raskem gaas) lendumine detaili pinnalt 40g/m² kohta, 30 °C ruumitemperatuuril aga juba 100g/m². Stüreen tuleb ventilatsioonisüsteemi imeda võimalikult tööpinna lähedalt või siis ruumi põrandalt, kuna tegemist on õhust raskema gaasiga.

4.3 Laboritega seotud orienteeruvad jooksvad materjali-, ülalpidamis- ja hoolduskulud

4.3.1 Materjalilabori jooksvad kulud

Materjalilabori jooksvad kulud on arvestatud Tabelites 3 ja 4. Materjalilabori seadmete hoidmiseks ja hooldamiseks vajalik turvavaru on arvestatud seadmete amortisatsioonina jagatuna 10 aasta peale (vt. Tabel 3).

Tabel 3. Materjalilabori seadmete keskmise amortisatsiooni arvestus

Katseseadmed	Seadme kasutusaeg aastates	Keskmine amortisatsioon
30 kN elektromehaaniline katseseade – metallide, polümeeride, KM katsetamiseks.	10	105000
Kõvadusmõõtur Janka puidule	10	5750
Kliima-korrosioonikapp (niiskus, temperatuur, sool)	10	55000
UV kamber	10	17500
Ultraheli kontrolli seade Al keevisliidetele	10	22500
Röntgenseade Al keevisliidetele pildistamiseks ja seadmed filmide ilmutamiseks	10	85000
Kokku:		290750

Tabel 4. Materjalilabori aastased jooksvad kulud kokku

Kululiik	Selgitus	Arvestuse alused		Summa aastas EEK
		tunnihind	tunde kokku	summa aastas
Tööjõukulud	Katseekspert	200	2000	400000
Halduskulud	Elekter+küte+vesi ja kanal	m2/hind 50	m2 kokku 50	summa aastas 30000
Amortisatsioon	Tehnoloogialabori seadmed	Seadmete kasutusaeg aastates 10	Seadmeid kokku tk 6	Amortisatsiooni summa aastas 290750
Kulumaterjalid	abimaterjalid, isikukaitsevahendid	Keskmine kulu kuus 5000	Kuluperiood 12	Summa 60000
Jooksvad kulud kokku:				780750

Kokku kulub aastas materjalilabori ülalpidamisele kuni **0,78 mEEK**.

4.3.2 Tehnoloogialabori jooksvad kulud

Tehnoloogialabori seadmete hoidmiseks ja hooldamiseks vajalik turvavaru on arvestatud seadmete amortisatsioonina jagatuna 10 aasta peale (vt. Tabel 5).

Tabel 5. Tehnoloogialabori seadmete keskmise amortisatsiooni kohta

Katseseadmed	Seadme kasutusaeg aastates	Keskmine amortisatsioon
CNC Pink 5D toote prototüüpide valmistamiseks	10	30000
Light RTM kontrollpult	10	21500
Al valutehnoloogia ahi	10	4250
Al vanandamis-noolutusahi	10	5600
Lihtne mehaaniline press (30T),	10	8750
Klaasplastist vormid	10	7500
Kuumutatavad pressvormid	10	8750
Kuivatuskamber - lihtne kapp (KM vaigud, lakid värvid).	10	3500
Metalli treipink Al katsekehade valmistamiseks	10	8750
Freespink Al katsekehade valmistamiseks	10	8750
Al keevitusaparaat	10	4500
Kokku:		381850

Tabel 6. Tehnoloogialabori aastased jooksvad kulud kokku

Kululiik	Selgitus	Arvestuse alused		Summa aastas EEK
		tunnihind	tunde kokku	summa aastas
Tööjõukulud	Meister-laborant komposiitmaterjalid hõive 1.0	150	2000	300000
	CNC-, trei- ja freespingioperaator Hõive 0.5	100	1000	100000
	Töötaja kogu palgakulu			540000
Halduskulud	Elekter+küte+vesi ja kanal	m2/hind 50	m2 kokku 145	summa aastas 87000
Amortisatsioon	Tehnoloogialabori seadmed	Seadmete kasutusaeg aastates 10	Seadmeid kokku tk 11	Amortisatsiooni summa aastas 381850
Kulumaterjalid	Komposiitmaterjalid, löiketerad, abimaterjalid, isikukaitsevahendid	Keskmine kulu kuus 6000	Kuluperiood 12	Summa 72000
Jooksvad kulud kokku:				1053850

Kokku kulub aastas tehnoloogialabori ülalpidamisele kuni **1,05 mEEK**.

4.4 Laboriteenuste hinnakalkulatsioon

4.4.1 Materjalilabori teenused

Laboritöötunni hind materjalikatsetustel ja ekspertiisidel on 400 krooni. Laboriteenuste hinnakalkulatsioonid on teostatud, lähtudes laboriseadmete ja laboritöötundide hindadest. Arvestuslikud teenuste hinnad on toodud tabelis 7. Materjalilabori teenused ning kavandatud arvestuslikud mahud 2012-2014 on toodud Lisa 4.

Tabel 7. Laboriteenuste hinnad töötunnipõhiselt

Teenuste hinnad	Töötunni hind	Ööpäev
Laboriteenuse hind	400	9600
Kliima-korrosioonikapi rendihind	100	12000
Tõmbeteimi rendihind	50	1200

4.4.2 Tehnoloogialabori teenused

Komposiitmaterjalide labori rendihinnaks ettevõttele on 400 krooni tund. CNC-töötlemiskeskuse töötunni hinnaks on 500 krooni. *Light-RTM* kontrollpuldi rendi hinnaks ettevõttele on 1200 krooni ööpäev, mis tunnihinnaks teeb 50 krooni. Mehaanilise pressi, treipingi, freespingi rendihinnaks on 25 krooni tund. Tehnoloogialabori teenused on jagatud

kolme gruppi: teenused ettevõtetele (10% ajalisest ressursist), teenused teadus ja haridusasutustele (40% ajalisest ressursist) ja arendus rakendusuringu ning tootearendusprojektid (50% ajaressursist). Tehnoloogialabori teenused ning kavandatud arvestuslikud mahud 2012-2014 on toodud Lisa 4.

Tabel 8. Laboriteenuste hinnad töötunnipõhiselt

Teenuste hinnad	Töötunni hind	Ööpäev
Labori töötunni rendihind	400	9600
CNC pink	500	12000
<i>Light RTM</i> seadme rendihind	50	1200
Mehaaniline press, freespink, treipink	25	600
Ahjude (sulatus, noolutus, kuivatus) rendihind	25	600

5. Kokkuvõte

VLEKK planeeritav **materjalilabor** peab võimaldama läbi viia VLE ettevõtte poolt soovitud teenusteid, mis sisaldavad materjalide ja toodete mehaanilisi katsetusi, keevisliidete kapillaar, ultraheli ning radiograafilist kontrolli. Lisaks on oluline katsetada materjale väliskeskkonna tingimustes, mis annaks ettevõtjale kindluse toote eluea suhtes. Lisaks osutab materjalilabor teenuseid teadus ja haridusasutustele katsetuste läbiviimisel. Materjalilabori loomine annab VLEKK-ile ka võimekuse osaleda rahvusvahelistes arendusprojektides ja rakendusuuringutes. Sõltuvalt seadmete ja nende lisade valikust on hinnatav materjalilabori investeeringute maht kokku on **3,2 - 4,1 mEEK**. Kõige suuremaks investeeringuks on plaanitud universaalse 30 kN mehaanilise katsetussüsteemi soetamine, mis võimaldab läbi viia, tõmbe-, surve-, painde-, ja väsimuskatseid plastide, komposiitmaterjalide, alumiiniumi ja madalsüsinikterasest katsekehadega. Teiseks oluliseks investeeringuks on keevisliidete ja materjalide mittepurustava kontrolli seadmed, millega kaasnevad ka koolituskulud. Kolmas oluline investeering on suunatud kliima-korrosiooni ja UV-kindluse testimiskambrite soetamisele. Materjalilabori kogupindala on **50m²**, millest katsetusruum moodustab 31m², töönurk ja keevisliidete kapillaarkontrolli ruum 11m², ning radiograafia laboriruum 8m². Materjalilabori ruumides tuleb tagada töötemperatuur 23±1°C ja suhteline õhuniiskus 50%. Materjalilabori aastased ülalpidamiskulud kokku on **0.8 mEEK**. Materjalilabori poolt pakutava laboriteenuse hinnaks on **400 krooni/tund**.

VLEKK **tehnoloogialabori** eesmärgiks on osutada katsebasseinile, materjalide ja elektroonsete süsteemide laboritele vajalikke teenuseid (tootearenduseks vajalike komponentide, katsekehade ja laevamudelite tootmine). Tehnoloogialabor on õppebaasiks laevaehituse inseneridele, kes omandavad praktilisi töövõtteid ja kogemusi erinevate materjalide (puit, metallid, plastid ja komposiitmaterjalid) ja nende töötlemistehnoloogiate (valmistustehnoloogiad, lõiketöötlemine, keevitamine) alal.

Tehnoloogialabori seadmete soetamiseks vajalik investeering ligikaudu **3.1 – 5.4 mEEK**.

Tehnoloogialabori ruumid jagunevad kolmeks: komposiitmaterjalide valmistamis- ja töötlemisruumid pindalaga 90m², metallide töötlemisruum koos 5-teljelise CNC töötlemiskeskusega on pindalaga 54m², ning lisaks komposiitplastist, puust ja metallist detailide viimistlusruum pindalaga 90m². Lisaks oleks vaja riietusruumid koos sanitaarsõlmedega 21m², tehniline seadmete ruum 21 m² ja täiendavat laopinda nii tule- kui plahvatusohtlikele ainetele, materjalidele ja paadikere mudelitele/vormidele 90m². Sõltuvalt ruumide ehituslikust eripärast võib projekteerimisel ilmnedä täiendav ruumivajadus kuni 50 m². Tehnoloogialabori ruumide kogupindalaks on arvestatud **400-450 m²**.

Olulisemateks investeeringuteks on plaanitud 5-teljelise CNC töötlemiskeskuse ja *Light RTM* kontrollpuldi soetamine. CNC pinki hakatakse kasutama vahtplastist tooteprototüüpide, laevamudelite ja elektroonika-mehaanika detailide valmistamiseks. Keeruka kujuga laevamudelite freesimiseks ei sobi 3D CNC pingid, kuna mudelit ei saa liimida kihiti vaid tuleb väljafreesida tervikuna vahuplokist. Lisaks saab seadet kasutada ka õppeotstarbel, kus tulevased laevaehitusinsenerid õpivad koostama CAM programme tarkvaralaboris loodud 3D tootemudelitele.

5-telejeline CNC pingi soetamise puhul kaalutakse võimalust ka kasutatud töötlemiskeskuse soetamiseks, milleks on arvestatud 2 mEEK. Juhul kui soetada uus CNC pink, siis selle orienteeruv maksumus oleks 4 mEEK. Plaanitud robotkäsivarrega CNC pingi vaakumlaua suuruseks on 3x1 meetrit ning töötlemiskõrguseks 0,5m.

Light-RTM kontrollpult võimaldab väiksematel VLE ettevõtetel tehnoloogiliselt ja kvalitatiivselt edasi areneda ja katsetada kahepoolseid vorme toodete valmistamisel vaigu injekteerimise teel. *Light-RTM* kontrollpult võimaldab segada ja doseerida vaiku ja kõvendit vahetult enne selle vormi pritsimist tagades toodete parema kvaliteedi, sest selle tulemusena saadavad tooted ei vaja enam täiendavat viimistlust.

Tehnoloogialabori aastased jooksvad kulud kokku moodustavad **1,05 mEEK**. Tehnologialabori töötunni arvestuslikuks hinnaks on 400 krooni, millele lisanduvad seadmete rendi kulud. Olulisema seadme 5-telejelise CNC pingi töötunnihinnaks on 500 krooni.

VLEKK materjali- ja tehnoloogialabori kogu investeringute maht on **6,3-9,5 mEEK**. Sellele lisanduvad laborite aastased jooksvad kulud kokku moodustavad kuni **1.9 mEEK**.

Loodavad materjali- ja tehnoloogia laborid on oma seadmetega varustatuse poolest Eestis unikaalsed. Materjalilabori katseseadmed leiavad kindlasti kasutust ka teiste Eestis tegutsevate ülikoolide ja teadusasutuste poolt. Tehnologialabori poolt pakutavaid teenuseid aga saavad kasutada ka komposiitplastist, alumiiniumist ja puitmaterjalidest tooteid valmistavad ettevõtted.

VLEKK materjali- ja tehnoloogia laborite loomine on väga oluline samm tõstmaks Saaremaa VLE sektori ettevõtete kompetentsi, konkurentsivõimet maailmaturul.

6. Kasutatud allikad

1. Composite Materials in Maritime Structures, Volume 1: Fundamental aspects, Eds: Sheno, R. A., Wellicome, J. F., Cambridge University Press, UK, pp 351, 1993
2. Composite Materials in Maritime Structures, Volume 2: Practical considerations, Eds: Sheno, R. A., Wellicome, J. F., Cambridge University Press, UK, pp 306, 1993
3. Rosato, Donald, V., Rosato, Dominic, V., Reinforced Plastic Handbook. Elsevier Advanced Technologies, USA, pp 1082, 2004
4. Veinthal, R., Materjalide ja toodete mittepurustav kontroll, diplomitöö, Tallinna Tehnikaülikool, 1999
5. ASME Handbook Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control, Materials Information Society, USA, May 1994
6. Blitz, J., Simpson, G., Ultrasonic Methods of Non-destructive testing, Chapman&Hall, Cambridge University Press, UK, 1996
7. Cauchois, J.P., Raynal, J. Closed-mould technologies in composites processing. JEC Composites Magazine, 31, 2007, lk 37-40.
8. NetComposites kodulehekulgu [WWW] <http://www.netcomposites.com/>
9. Aruniit, A. Sandwich-tüüpi komposiitplastist konstruktsiooni tugevusanalüüs, TTÜ magistritöö, 2007
10. Small craft. Hull construction and scantlings. Part 5. Design pressures for monohulls, design stresses, scantlings determination: ISO/FDIS 12215-5:2006(E). Geneva : ISO, 2006.
11. Kiirgusseadus (RT I 2004, 26, 173)
12. Radionukliidide aktiivsustasemed ning kiirgusallika asukohaks olevatele ruumidele, ruumide ja kiirgusallika märgistamisele esitatavad nõuded [[RTL 2006, 47, 842](#) - jõust. 15.06.2006]