

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Lentokonetekniikka

Opinnäytetyö

Aku Lantto

LENTOKONETEKNIIKAN LABORATORIOIDEN KEHITTÄMISSUUNNITELMA

Työn ohjaaja

DI Simo Marjamäki

Työn teettäjä

Tampereen ammattikorkeakoulu

Tampere 2010

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Lentokonetekniikka

Lantto, Aku Lentokonetekniikan laboratorioiden kehittämissuunnitelma

Tutkintotyö 41 sivua + 10 liitesivua

Työn ohjaaja DI Simo Marjamäki

Työn teettäjä Tampereen ammattikorkeakoulu

Maaliskuu 2010

Hakusanat Komposiittilaboratorio, virtausmekaniikan laboratorio,
kehittämissuunnitelma

TIIVISTELMÄ

Tämä työ on tehty Tampereen ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan osastolle komposiitti- ja virtausmekaniikan laboratorioiden kehittämissuunnitelmaksi.

Olemassa oleva komposiittikoulutus on varsin teoriapainotteista ja on koettu olevan tarvetta paremmalle laboratoriolle. Virtausmekaniikan opetusta ei juuri ole ollut saatavilla.

Työssä lähdetään komposiittipuolelta liikkeelle olemassa olevasta ja esitetään muutamien esimerkkien avulla toimivaa komposiittilaboratoriota, jota ensinnäkin on hyvä käyttää opetustarkoituksiin, mutta joka mahdollistaa myös tutkimuksen ja kehityksen.

Työssä esitetään myös suunnitelmia virtausmekaniikan peruslaboratorion perustamiseksi niin, että se jakaa saman tilan opetusluokan kanssa.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical and production engineering

Aeronautical Engineering

Lantto, Aku Development plan for aeronautical laboratories

Engineering thesis 41 pages + 10 appendices

Thesis supervisor DI Simo Marjamäki

Commissioning Company Tampere University of Applied Sciences

March 2010

Keywords Composite laboratory, flow mechanics laboratory, development plan

ABSTRACT

This thesis was made for Department of Mechanical Engineering and Production of Tampere University of Applied Sciences to set a development plan for the composite and flow mechanics laboratories.

Existing education of composites is very theoretical and there has been seen the need for better composite laboratory. On fluid mechanics, there has been only little theoretical instruction available.

In the work the composite laboratory is studied first with a few examples to illustrate effective composite laboratory, first of all what is good for use for teaching purposes, but also allows for research and development studies.

The work also sets out plans for founding the flow mechanics laboratory for the way that it shares the same space with a class room.

ALKUSANAT

Kahden erilaisen laboratorion suunnittelu, osittain jopa tyhjän päälle, ja tämän kaksiosaisen työn laatiminen on ollut haastava tehtävä. Ei sillä, ettei mielenkiintoa olisi ollut, päinvastoin. Suurin haaste on ollut yrittää pitäytyä aiheessa ja rajoissa.

Haluaisin kiittää erityisesti opiskelukavereitani. Suuret kiitokset Simo Marjamäelle tuesta ja avusta, sekä myös muille opettajilleni näiltä kuudelta vuodelta, ovathan he koulineet minustakin insinöörin!

Suurimmat kiitokset tuesta haluan osoittaa avovaimolleni Liisalle.

Tampereella 11.3.2010

Aku Lantto

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
ABSTRACT.....	3
ALKUSANAT	4
1 JOHDANTO	7
2 KOMPOSIITTILABORATORIO	8
2.1 Komposiittialan koulutuksen tarve TAMKissa.....	8
2.2 Komposiitti yleisesti	9
2.1.1 Komposiittituotteen valmistus ja työvälineet.....	9
2.3 Komposiittilaboratorio	13
2.3.1 Taustaa	13
2.3.2 Uusien tilojen vaatimuksia	13
2.3.3 Terveyshaitat.....	14
2.3.4 Laitteisto- ja välinetarpeet.....	14
2.4 RTM-välineistö.....	15
2.5 Autoklaavi.....	16
2.5.1 Paineastioita koskevia säädöksiä	18
2.6 Jälkikovetusuuni	20
2.7 Laboratorion pohjasuunnitelmat	20
2.8 Pohjakuva pölytyötilalla	22
2.8.1 Pohjakuva, perus.....	22
2.8.2 Pohjakuva jälkikovetusuunilla.....	23
2.8.3 Pohjakuva jälkikovetusuunilla ja autoklaavilla	24
2.9 Pohjakuva ilman pölytyötilaa	24
2.9.1 Laitteet poikittain tilaan nähden	25
2.9.2 Laitteet pitkittäin tilaan nähden	26
2.10 Pohdintaa pohjakuvista	26
2.11 Komposiittilaboratorion kustannuksia	27
3 VIRTAUSMEKANIIKAN LABORATORIO	29
3.1 Tuulitunnelin tarve ja suunnittelu.....	29
3.1.1 Tuulitunneli	29
3.1.2 Tuulitunnelin suunnittelu.....	29
3.2 Erilaisia tuulitunneleita.....	31
3.2.1 Alisooininen tunneli	31

3.2.2	Transsooninen tunneli	32
3.2.3	Ylisooninen ja hypersooninen tunneli	32
3.3	Virtausmekaniikan laboratorio.....	32
3.3.1	Tila-, laitteisto- ja välinetarve	32
3.4	Tuulitunnelin valinta.....	33
3.4.1	Hitaan virtauksen suljettu tunneli	33
3.4.2	Hitaan virtauksen avoin tunneli	34
3.5	Laboratorion pohjasuunnitelmat	34
3.5.1	Avoin tunneli ulos puhaltavana	34
3.5.2	Avoin tunneli sisälle puhaltavana ja suljettu tunneli.....	36
3.6	Pohdintaa pohjakuvista	38
4	Yhteenveto ja omia pohdintoja	38
	LÄHDELUETTELO	41
	LIITTEET	41

1 JOHDANTO

Tämä työ on tehty tarpeesta uudistaa ja kehittää eteenpäin Tampereen ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan laboratorio-opetusta sekä tutkimusta ja kehitystä.

Tässä työssä pääpaino on komposiitti- sekä virtausmekaniikkalaboratorioiden kehittämisessä ja suunnittelussa.

Erilaiset muovi-lujite valmistustekniikat ovat jo tänä päivänä varsin laajassa käytössä eri teollisuuden muodoilla, ei pelkästään ilmailussa. Sitä mukaa kuin lujitteiden hinnat tulevat alas ja ominaisuudet paranevat, sitä enemmän haetaan uusia käyttökohteita komposiittituotteille. Siksi onkin tärkeää, että komposiittialan opetus kehittyy TAMKissa, jotta uusia ammattilaisia syntyisi.

Virtausmekaniikan laboratoriosta on ollut puute jo liian pitkän ajan. Aerodynamiikalla on erittäin tärkeä rooli lentävien alusten rakenteiden suunnittelussa kuin myös huollossa. Tuulitunnelin avulla lentokonetekniikan opetus saisi täysin uusia ulottuvuuksia, kun ilmavirtojen käyttäytymistä voi konkreettisesti havainnollistaa. Tuulitunneli antaa myös täysin uusia mahdollisuuksia muiden alojen opetukseen, esimerkiksi ajoneuvotekniikan.

2 KOMPOSIITTILABORATORIO

2.1 Komposiittialan koulutuksen tarve TAMKissa

Ilmailuala on ollut perinteisesti suurin käyttäjäkunta huippulaatu komposiittituotteille ja ylipäättään uusille ”premium”-materiaaleille. Nykyään esimerkiksi hiilikuitu (kuva 1.) ei kuitenkaan ole enää mitenkään erityisen eksoottinen materiaali, jota vain harvat osaavat työstää. Myös muussa kulkuneuvoteollisuudessa on alettu käyttää erilaisia komposiittituotteita etenevässä määrin. Yksi suurimmista syistä on saatava painon säästö, joka puolestaan suoraan vaikuttaa polttoaineen kulutukseen.

Niin sanottujen ”state-of-the-art”-tuotteiden valmistusmenetelmien, tässä tapauksessa jotkin RTM-menetelmät sekä prepreg-kuitujen laminointi autoklaavissa on todellakin oma insinööritieteenalansa lujuuslaskentoinen ja virtausmallinnuksineen. Ei riitä, että asioita kerrotaan pintapuolisesti teoriatasolla, vaan opetukseen tulisi tuoda mukaan käytäntö. Komposiittituotteiden laatuun kun vaikuttavat erittäin suurelta osin ammatti- ja kädentaidot. Jotta tulevaisuudessa Suomessa ja varsinkin Pirkanmaan alueella olisi riittävästi ammattitaitoista väkeä myös tällä teollisuudenalalla, on tärkeää, että TAMK kehittäisi koulutustarjontaansa ja mahdollisuuksia komposiittitekniikan opiskeluun.

Tällä hetkellä kone- ja tuotantotekniikan osastolla lentokonetekniikan suuntautumisvaihtoehdossa on mahdollista suorittaa Komposiittirakenteet -kurssi, jonka puitteissa käydään läpi teoriaa sekä tehdään pienimuotoinen laboratorioharjoitus avolaminoimalla tasolaminaatti. Tilanteesta riippuen on mahdollisuus myös aiheeseen liittyvään projektiin, kuten vuosina 2007 - 2008 oli 1:3-skaalattu UAV koululla rakennetusta Eurostar EV97 -ultrakevyestä lentokoneesta.

2.2 Komposiitti yleisesti

Komposiitti on yleisnimitys materiaalille, joka on tehty kahdesta tai useammasta aineesta, jotka yhdessä tuottavat sellaisia arvoja, mitä aine ei yksinään voisi saada. Esimerkiksi siis betoni ja laminoitu lasi ovat komposiittituotteita. Lentokonetekniikan ollessa kyseessä komposiitilla tarkoitetaan kuiduilla lujitettuja muoveja, esimerkiksi hiilikuitua epoksi- hartsissa.



Kuva 1. Hiilikuitumatto rullalla.

/1/

Mitä paremmasta lujitteesta ja hartsista teknisesti on kyse, sitä kalliimpia ne ovat ja sitä korkeammat vaatimukset tuotantoon kohdistuu. Luonnollisesti, mitä enemmän tarveaineissa on rahaa kiinni, sitä parempaa laatua valmiilta tuotteelta odotetaan. Vaativimmissa epoksihartseissa on tarkat mittasuhteet kovettimelle sekä myös laminointi- että jälkikovuuslämpötilat tulee pitää tarkasti hallussa.

2.1.1 Komposiittituotteen valmistus ja työvälineet

Komposiittituotteita voidaan valmistaa hyvin monella erilaisella tavalla. Osa menetelmistä on varsin siistejä, kun toiset taas voivat olla likaisiakin. Ammattitaidolla on kaikissa menetelmissä kuitenkin suurin rooli, ja erityisesti märkälaminoinnissa

kädentaidoilla on ratkaiseva merkitys lopullisen tuotteen onnistumiselle. Seuraavassa muutamia suppeita esimerkkejä:

Avolaminointi suoraan muottiin on helpoin ja halvin tapa valmistukselle (kuva 2.). Tätä tapaa suositetaan lähinnä suurissa kappaleissa, joihin ei kohdistu juurikaan tiukkoja vaatimuksia, esimerkiksi painon suhteen. Eniten käytetään lasikuitua lujitteena ja polyesterihartsia näiden edullisuuden vuoksi. Märkälaminoinnissa käytetään perustyökaluja, hartsin levitykseen siveltimeä, erikokoisia teloja ja lastoja. Ilmanpoistoon laminaatista on erityiset telat, joissa on uria joko poikittain tai pitkittäin rullaussuuntaan nähden. Kulmien rullaukseen on myös omanlaisensa tela tai paremminkin rulla.



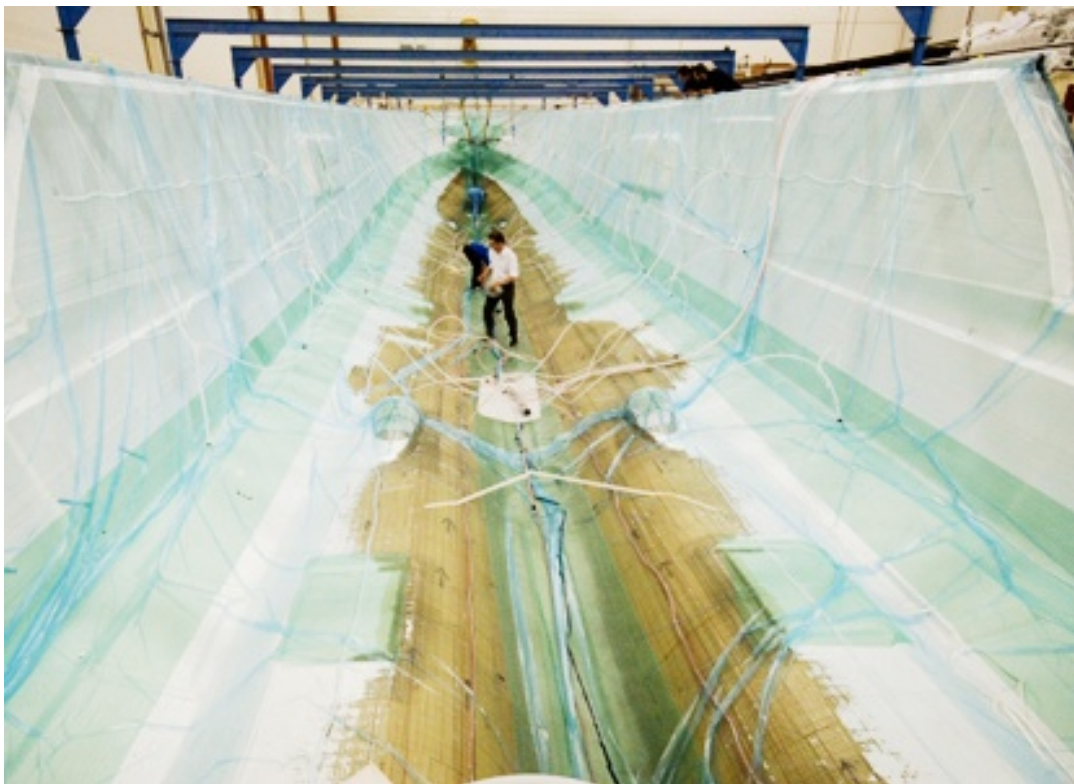
Kuva 2. Avolaminointi, urosmaster + musta gelcoat + 2 kerrosta 300g/m² lasikuitumattoa + polyesterihartsia.

Hieman kehittyneempi tapa on märkälaminoinnin jälkeen kovettaa tuote alipaineessa. Alipainekovetuksessa märkälaminoitu tuote muotteineen suljetaan ilmatiiviiseen pussiin, josta imetään ilma pois (kuva 3.). Näin laminoidut kuidut painuvat tiukasti muottia vasten sekä ylimääräinen hartsi poistuu imuhuopaan. Saatu tuote on laadultaan parempi ja huomattavasti kevyempi kuin avolaminoimalla tehty. Alipainesäkittämällä on mahdollista myös toteuttaa suuriakin kappaleita. Samat perustyövälineet toimivat säkityksen kanssa, ainoastaan alipainevälineet (säkitysmuovi, imuhuopa, irrotuskankaat / kalvot, letkut ja mittarit) tulevat mukaan kuvioon. Säkitämiseen tarvittavat kertakäyttöiset tarpeet, kuten imuhuopa, ovat varsin edullisia, joten säkittämällä voi tehdä hyvää laatua suhteellisen edullisesti.



Kuva 3. Kolme muottia alipainesäkissä.

RTM eli Resin Transfer Moulding on laaja käsite, joka sisältää useita eri tapoja laminointiin. Perusajatuksena kaikissa tavoissa kuitenkin on, että lujitteet asetellaan kuivana ilmatiiviiseen kaksipuoleiseen muottiin. Toinen puoli muotista voi olla myös joustava, esimerkiksi alipainesäkki. Hartsia tuodaan lujitteille injektoimalla se erillisestä säiliöstä alipaineen tai ylipaineen avulla lujitteiden läpi. Muottiin ja lujitteisiin tunkeutuessaan hartsia syrjäyttää ilmaa tieltään. Näin tuotteesta tulee tasalaatuinen, niin paksuuden kuin hartsin määrän osalta. Tällä menetelmällä voidaan valmistaa suuriakin kappaleita varsin siististi ja ennen kaikkea laadukkaasti (kuva 4.).



Kuva 4. Princess Yachtsin jahdin rungon laminointi injektoimalla.

/2/

Prepreg eli pre-impregnated -kuiduissa hartsia on valmiiksi annosteltuna lujitteeseen, joten ei ole tarpeen sekoitella hartsien kanssa. Prepreg -tuotteita on kymmeniä erilaisia, erilaisilla ominaisuuksilla. Yleisimmät muodot ovat matto ja nauha. Prepreg on toimitettaessa niin sanotussa B-tilassa, eli kemiallinen reaktio, kovettuminen, on alkanut, mutta sen nopeus on hidastettu. Tämän vuoksi prepregit kuljetetaan ja säilytetään vähintään -18 C asteessa. Tällöin ne säilyvät käyttökelpoisina muutamia kuukausia, riippuen suuresti käytetystä hartsista. Lujitteet asetellaan muottiin aivan kuten RTM tyylin laminoinnissa, mutta injektioinnin sijaan muottia lämmitetään, jolloin kemiallinen reaktio hartsissa käynnistyy ja tuote laminoituu. Prepregeissä

käytetyt epoksihartsit vaativat tarkat ja valvotut lämpötilaolot kovetukseen ja soveltuvatkin yleensä vain autoklaavissa kovetettavaksi.

Yleensäkin vaativimmat hartsit sekä lujitekuidut vaativat korkeita paineita sekä tarkasti säädeltyä lämpöä tuottaakseen kelvollista lopputulosta, saati sitten ilmailun vaatimaa laatua.

2.3 Komposiittilaboratorio

Tässä kappaleessa kerrotaan hieman, mitä tällä hetkellä on komposiittilaboratorio TAMKissa, ja mitä jatkossa tulisi olla.

2.3.1 Taustaa

TAMKissa on laminointitöitä tehty pääsääntöisesti tilassa F0-02, joka on kuitenkin osoitettu tuoteanalyysilaboratorioksi ja on siinä käytössä muutaman viikon lukukaudesta, sekä tämän tilan yhteydessä olevassa pienessä maalaushuoneessa F0-03. Joskus tilan puutteen vuoksi töitä on jouduttu viemään kovetukseen myös lentokonetekniikan projektihuoneeseen E0-21. Myös student formula -projekti on vienyt näitä vähäisiä tiloja.

2.3.2 Uusien tilojen vaatimuksia

Uusien tilojen suunnittelussa tulee ottaa huomioon erityisesti tarkoituksenmukaisuus, sillä tiloissa käsitellään terveydelle haitallisia kemikaaleja ja pölyävää työstöäkin on. Yhtäaikaista käyttäjiä tilassa voi olla helposti yli 10 henkeä.

Muottien tekoa varten olisi hyvä olla oma suljettu tilansa pölyn vuoksi. Tähän tilaan voisi järjestää asiaankuuluvasti pölynpoiston sekä tietysti työvälineet, kuten esimerkiksi vannesahan ja pöytäsiirrelin. Tilojen toteutuksessa tulee muistaa, että suurin työ yksittäisten laminointitöiden kanssa on juuri muottien valmistuksessa.

Myös laitteille, kuten jälkikovetusuuni ja autoklaavi, tulee varata riittävästi tilaa, mikäli näiden hankintaan päädytään.

Käytettävien kemikaalien luonteen vuoksi ilmastoinnin tulee olla riittävä koko laboratorion alueella, ja erityisesti työpisteissä, joissa käsitellään kemikaaleja

avoimesti, tulisi olla tehokas kohdeilmastointi. Kemikaalit myös tulee säilyttää ilmastoidussa turvallisessa tilassa.

Työpisteitä tulee olla useita, ja reilun kokoisia jotta useita projekteja voisi tehdä yhtä aikaa. Liikuteltavia pöytiä/vaunuja tulee myös varata.

Koska tilassa tulnaisiin laminoimaan ja kovettamaan tuotteita huonelämmössä, tulisi ilmastoinnin osalta lämpötila pystyä pitämään tasaisena.

Henkilökohtaisia suojaimia, kuten suojavaatetus, hengityssuojaimia ja silmäsuojaimia, tulee myös varata riittävästi.

2.3.3 Terveyshaitat

Laminoinnissa käytetyt kemikaalit, hartsit, kovetteet ja muut tarvittavat liuottimet, sisältävät terveydelle haitallisia ainesosia; esimerkiksi polyesterihartsit sisältää styreeniä.

”Lujitemuoviteollisuudessa styreenille altistuneilla on todettu kromosomimuutoksia veren lymfosyyteissä.” /3/

Epoksihartsi puolestaan sisältää muun muassa bisfenoli-a:ta, jonka on todettu vaikuttavan hormonitoimintaan, immuunijärjestelmään ja aiheuttavan erektiohäiriöitä. /4/

Hionnassa syntyvä pöly ja erityisesti lujitteista tuleva pöly on myös vaarallista, epämiellyttävästä puhumattakaan.

Parhaiten kaasu- ja pölyhaitoilta voi suojautua huolehtimalla riittävästä ilmanvaihdosta sekä käyttämällä henkilökohtaisia suojaimia työtä tehtäessä.

2.3.4 Laitteisto- ja välinetarpeet

Laboratoriota tulee kehittää tarpeen edellyttämällä tavalla. On aivan turhaa tehdä suuria ja kalliita hankintoja, jos käyttö ei sitä edellytä eikä käyttöastekkaan olisi kovin suuri. Perustyövälineet muottien valmistukseen tulee olla sekä riittävä tila niiden turvalliseen käyttöön.

RTM-tyyppisten laminointitekniikoiden käyttöönottoon tulee perehtyä ja hankkia tarvittavaa laitteistoa. Suljetulla laminoinnilla on myös työterveydellinen puolensa; tiloihin tulee huomattavasti vähemmän kemikaaleista johtuvia epäpuhtauksia.

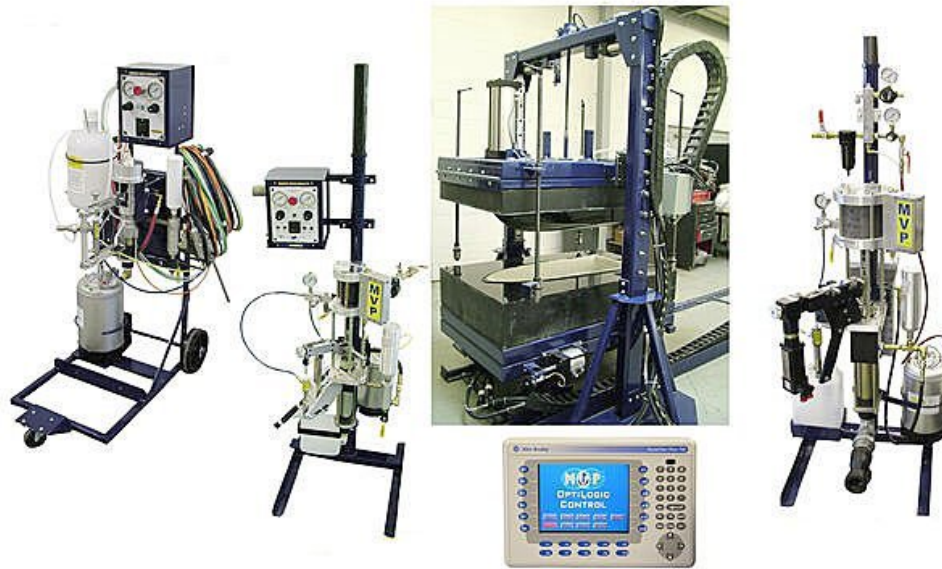
Autoklaavin hankinnasta on ollut paljon puhetta, mutta sellaisen hankkimista tulee mielestäni vielä pohtia tarkemmin, eikä vähiten tarkoituksen kannalta. Autoklaavi on isomman luokan paineastia, joten sen hankinnassa tulee perehtyä myös lainsäädäntöön ja myös selvittää, onko sellaista edes mahdollista sijoittaa TAMKin tiloihin.

Jälkikövetusuuni on välttämätön väline komposiittilaboratoriossa, jotta laminaattituotteen laatu olisi lentokone käyttöön soveltuvaa. Monissa epoksihartseissa on tarkat ohjeet laminaatin jälkikövetukselle sykleissä kohotetussa lämpötilassa, jotta mekaaniset ominaisuudet saavutettaisiin luotettavasti. Uuneja on yleisesti saatavilla monta eri kokoa ja monilla eri lämmitystavoilla toteutettuja.

2.4 RTM-välineistö

Tarvittavat välineet RTM-menetelmien käyttöönottamiseen eivät ole kovin kummoisia: injektiopumppu letkuineen ja liittimineen perusalipainevälineistön lisäksi. Injektiopumppu voi olla niin sanottu kaksikomponenttipumppu, jolloin pumppu ottaa hartsin ja kovettajan omista astioistaan ja sekoitus tapahtuu erillisessä sekoittajassa, joka sijaitsee letkussa matkalla laminaattiin. Pumppuja on olemassa manuaalisia, sähkömoottorilla sekä pneumaattisia yksi- tai kaksikomponentti malleja. Injektiopumppu voi olla joko yksi- tai kaksikomponenttimallia. Yksikomponenttisen pumpun kanssa tulee hartsin ja kovete sekoittaa ennen pumppaamista muottiin. Kaksikomponenttipumppuissa on erilliset säiliöt kummallekin aineelle sekä sekoituspää, jossa aineet sekoittuvat. Kuvassa 5. on esitelty erilaisia injektiopumppuja.

Muu tarvittava välineistö on tapauskohtaista, esimerkiksi kaksipuoliset muotit ja prässä.



Kuva 5. RTM- injektiovälineistöä.

/5/

2.5 Autoklaavi

Autoklaavi on paineastia, jonka painetta sekä lämpöä voidaan hallita tarkasti, jotta komposiittituotteen valmistus olisi tasalaatuista. Itse laite on erittäin yksinkertainen, tiettyjen mittojen mukainen säiliö, joka aukeaa toisesta päästään koko halkaisijaltaan (kuva 6.). Muotit autoklaaviin työnnetään vaunuissa kiskoja pitkin (kuva 7.).

Paine autoklaaviin tehdään syöttämällä paineilmaa ulkopuolisesta järjestelmästä kuten paineilmaverkosta, tai suoraan kompressorista. Tästä johtuen käytössä on varsin maltillinen paine, alle 10 bar. Itse laminaatti on säiliössä muotissaan, joka on alipaineistettu. Tällöin laminointiprosessiin vaikuttavat sekä ali- että ylipaine. Tietynlaisten ominaisuuksien saavuttamiseksi komposiittituotteessa on myös mahdollista käyttää soveltuvaa kaasua väliaineena.

Lämpö voidaan tuoda astiaan monella eri tavalla, mutta yksinkertaisuuden ja helppouden vuoksi yleisintä on käyttää sähkövastuksia. Vastukset sijaitsevat säiliön sisällä vaunukiskoja alla, kuten kuvasta 8. näkee.



Kuva 6. Autoklaavi halkaisijaltaan 1500 mm.

/6/



Kuva 7. Vaunukiskot ja liikuteltava apupöytä.

/6/



Kuva 8. Sähkövastukset vaunukiskojen alapuolella.

2.5.1 Paineastioita koskevia säädöksiä

Koska autoklaavi on paineastia, tulee ennen hankintaa ottaa huomioon lait ja asetukset.

Painelaitelaki 27.8.1999/869 kertoo asiasta näin:

3§

Painelaite on rakennettava ja sijoitettava ja sitä hoidettava, käytettävä ja tarkastettava niin, ettei se vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta.

4§

Painelaitteelle 3 §:ssä säädettyjen vaatimusten mukaisuus osoitetaan tarkastuslaitosten tekemillä tarkastuksilla taikka muilla menettelyillä siten kuin asetuksella ja ministeriön päätöksellä tarkemmin säädetään.” /4/

Koska suunnitelmissa on sijoittaa autoklaavi TAMKin tiloihin, konetalon pohjakerrokseen, jonka suoraan yläpuolella on luokkatiloja, tulee harkittavaksi myös autoklaavin mahdollisuus merkittävään vaaraan aiheutukseen. Tällöin lakiteksti sanoo:

”8§

Painelaite, joka voi aiheuttaa merkittävää vaaraa, on rekisteröitävä siten kuin ministeriön päätöksellä säädetään.

Rekisteröitävälle painelaitteelle on tehtävä määrätyin aikavälein tarkastus (määräaikaistarkastus) sekä tarvittaessa muutostarkastus sen varmistamiseksi, että painelaite ei asianmukaisesti käytettynä vaaranna kenenkään terveyttä, turvallisuutta tai omaisuutta. Ministeriön päätöksellä voidaan säätää, että tarkastuksia on tehtävä myös muille kuin rekisteröitäville painelaitteille.” /4/

Suomessa valvova instanssi on Turvatekniikan laitos Tukes, joka myös ylläpitää painelaiterekisteriä. Tarkastuslaitoksia on muun muassa Inspecta.

Tilasta riippuen on mahdollista, että seinärakenteita joutuu vahvistamaan mahdollisten vahinkojen minimoimiseksi, kuten esimerkiksi Vammalan ammattikoulussa autoklaavia ympäröivät kolme seinää neljästä tuli vahvistaa I-palkeista hitsatulla ristikkorakenteella (kuvat 9 ja 10).



Kuvat 9-10. Seinän vahvistuksia Vammalan ammattikoulussa.

2.6 Jälkikovetusuuni

Jälkikovetusuuni on nimensä mukaisesti laminaatin jälkikovetukseen tarkoitettu uuni. Jotta komposiittituotteen mekaaniset ominaisuudet ja tasainen laatu saataisiin aikaan, tulee laminaatit jälkikovettaa epoksin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Yleensä epoksi vaatii tietyn syklin kohotetussa lämpötilassa ja hitaan jäähdytyksen takaisin huoneen lämpöön. Jotta komposiittien laatu olisi tasaista ja todettavissa, tulee uunin olla varustettu riittävän monipuolisilla ohjaustoiminnoilla ja tallennuksella.



Kuva 11. Aalto yliopiston kevytrakennetekniikan laboratoriossa kaksi kovetusuunia.

2.7 Laboratorion pohjasuunnitelmat

Tämän työn kanssa oletetaan uudeksi komposiittilaboratorion tilaksi konetalon pohjakerroksessa sijaitsevaa tilaa F0-02. Tila olisi loistava komposiittipuolen käyttöön koska sen yhteydessä on jo maalaushuone (F0-03) ilmastoinnilla varustettuna sekä itse tilaan on jo aiemmin asennettu tehokkaampi ilmastointi. Tilasta on myös pariovellinen uloskäynti. Aiemmin osa tästä tilasta onkin ollut laminointityötilana. Pinta-alaa tilassa on 82,5 m². Tilaan voisi ajatella sijoitettavan erillinen pölytyöalue,

rajattuna esimerkiksi kevytseinillä, jälkikovetusuuni, autoklaavi, pakastin, laminointityöpiste sekä säilytystilaa.

Tilan pohjakuvan suunnittelussa lähtökohtana on monipuolinen laboratorio, jossa on puhtaampi puoli laminointia varten ja suljettu puoli pölyävää työstöä varten. Niin ikään isohkot laitteet, kuten jälkikovetusuuni ja autoklaavi tulee myös saada sovitettua tilaan. Myös työpisteiden väljyys tulee ottaa huomioon.

Laminointitilan puhtaus on prepregien kanssa työskennellessä erittäin tärkeää, joten kaikenlainen hionta ja muu sellainen pölyävä työstö tulee rajata omalle alueelleen, jotta komposiittituotteen laatu ei kärsisi.

Kaikissa pohjaesimerkeissä on työpöydät ja lujiterullahyllykkö leikkauspöytineen suunniteltu liikuteltaviksi, jolloin työtilaa voi muuttaa tarpeen mukaan.

Vetokaappi (kuva 12), jossa säilytetään hartsia ja kovetin, sijoitetaan helposti saatavilla olevaksi laminointipisteen lähetyville. Vetokaappiin myös sijoitetaan tarvittavat välineet hartsin sekoittamiseen, kuten puntari.

Muut kemikaalit, joita ei tarvitse niin useasti käyttää, säilytettäisiin maalaamon puolella ilmastoidussa kaapissa tai hyllyllä kuten tähänkin asti.



Kuva 12. Vetokaappi haihtuvien nesteiden käsittelyyn.

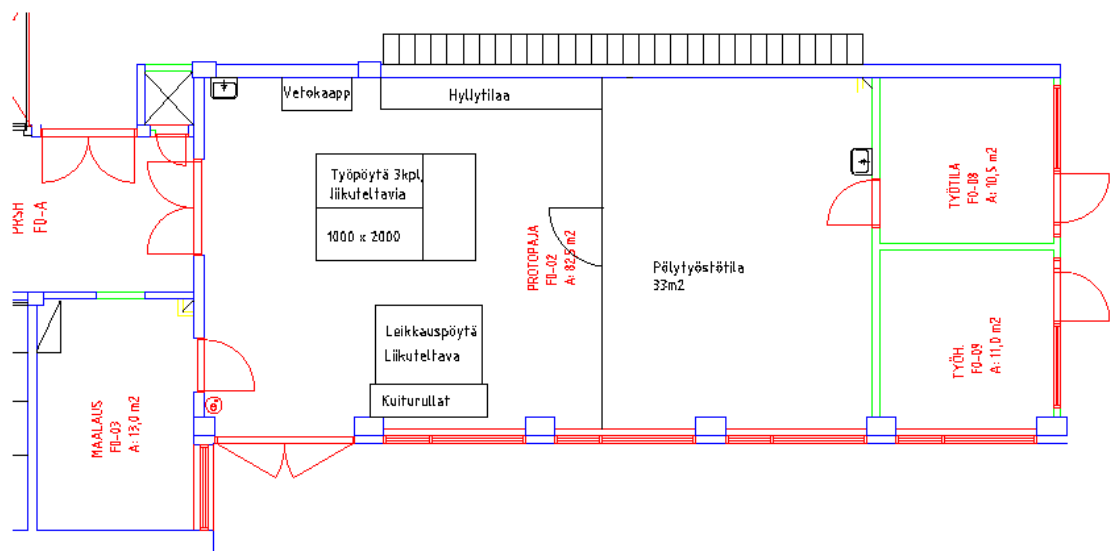
2.8 Pohjakuva pölytyötalalla

Seuraavissa kolmessa suunnitelmassa esitellään eri vaihtoehtoja laboratoriolle, niin että tila jakaantuu kahteen osaan, puhtaaseen ja pölyiseen.

Yhteistä kaikille kolmelle pohjakuvalle on laminointityötilan pysyminen samankokoisena, mutta pölytyötila antaa myöten kun laboratorioon tuodaan välineitä.

2.8.1 Pohjakuva, perus

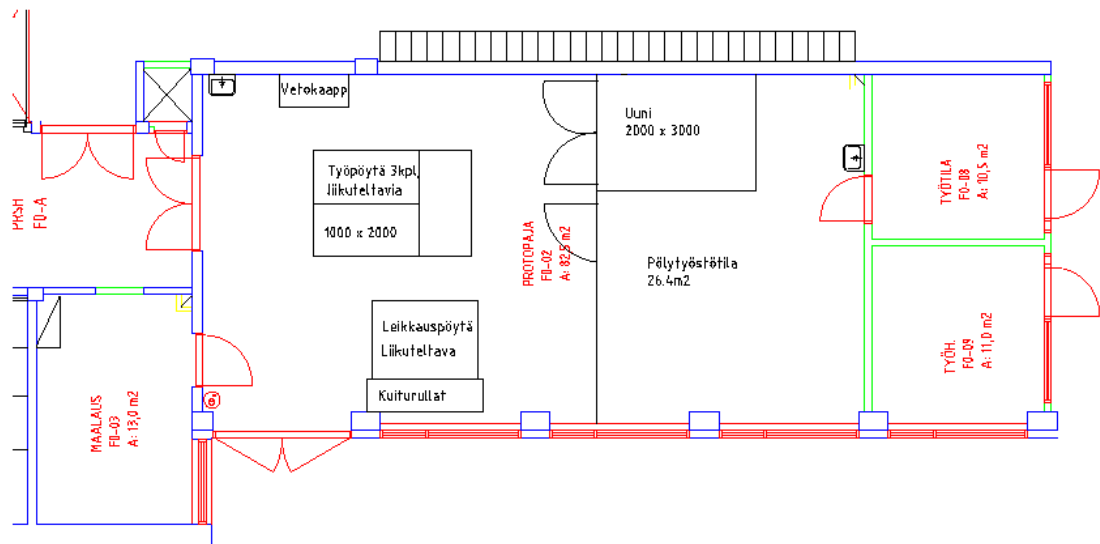
Pohjakuvasa on pelkästään työpöydät, kuiturullahyllykkö, vetokaappi ja hyllytilaa. Pölytyötilaa on noin 33 m², ja laboratorio jakaantuu kahteen tilaan. Piirroksen tarkoituksena on olla lähtökohtana ja näyttää tila riisuttuna, mutta laminointiin toimivalla pohjalla (kuva 13).



Kuva 13. Peruspohjakuva.

2.8.2 Pohjakuva jälkikovetusuunilla

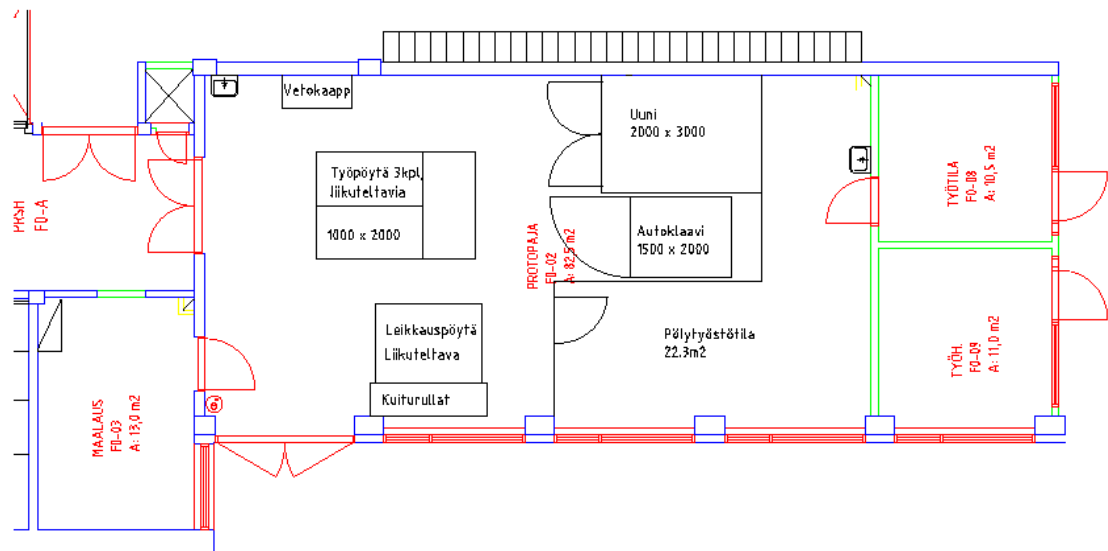
Pohjakuvaan on tuotu lisäksi jälkikovetusuuni, kokoa 2000 x 3000 mm. Uuni on suunnitelmassa mitoitettu reilun kokoiseksi, jotta on mahdollisuus monenlaisten projektien toteutukseen. Pölytilan pinta-ala pienenee noin seitsemän neliötä, mikä tarkoittaa käytännössä ison pöytäsiirrelin vaatimaa työtilaa. Kulku oville on esteetön (kuva 14).



Kuva 14. Pohjakuva uunin sijoituksella.

2.8.3 Pohjakuva jälkikovetusuunilla ja autoklaavilla

Muuten sama pohja, mutta uunin viereen on sijoitettu autoklaavi, kokoa 1500 x 2000 mm. Pölytila pienenee reiluun pariinkymmeneen neliöön, mutta säilynee vielä riittävänä useammalle pöytämallin koneelle. Kulku oville on esteetön, mutta kuvan osoittamalla tavalla toteutettaessa autoklaavin oikealle puolelle muodostuu nurkka, joka vie lattiatilaa laminointityötilasta. Tilaa on kuitenkin nopeasti järjestettävissä pölytilan kustannuksella (kuva15).



Kuva 15. Pohjakuva uunin ja autoklaavin sijoituksilla.

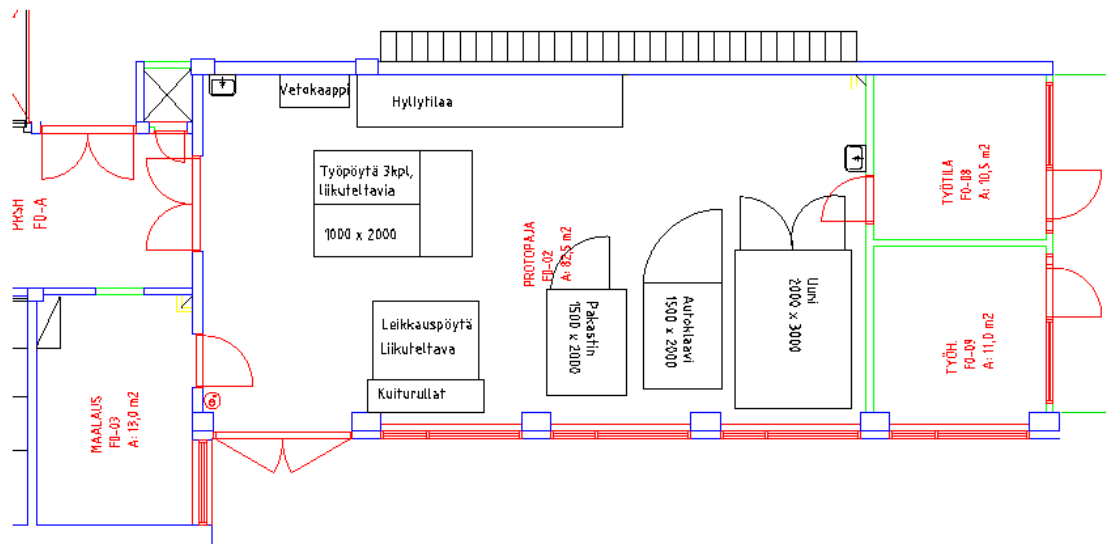
2.9 Pohjakuva ilman pölytyötilaa

Seuraavissa pohjakuvissa on jätetty pölytila kokonaan pois ja samalla nähdään, kuinka laitteet sopivat tilaan.

2.9.1 Laitteet poikittain tilaan nähden

Uuni ja autoklaavi on voitu sijoittaa hieman väljemmin. Mukana on myös pakastin prepregeille, kokoa 1500 x 2000 mm, mitä voidaan pitää riittävänä prepregien säilöntätarpeeseen.

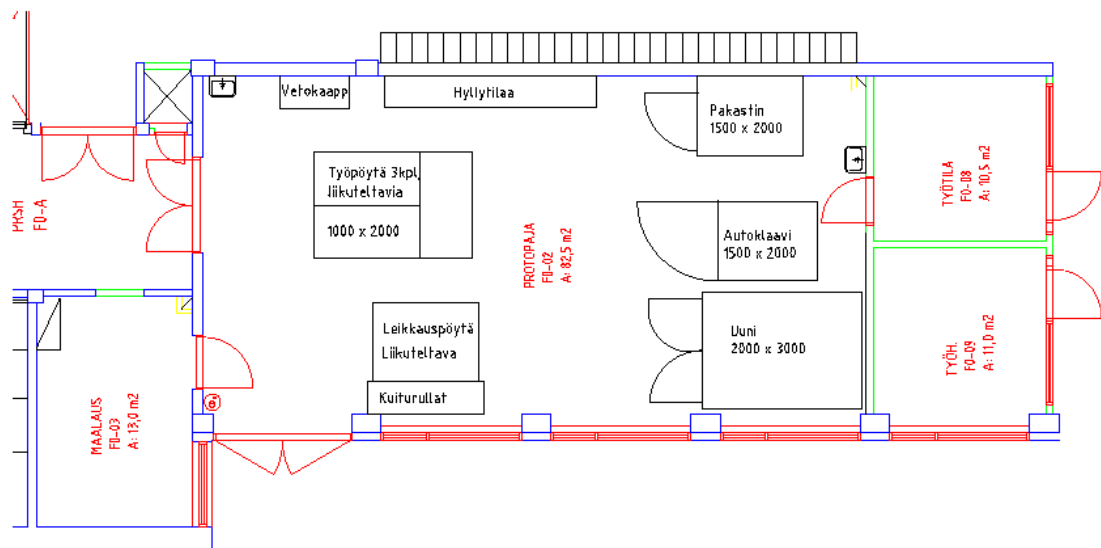
Alla olevassa kuvassa (kuva 16) on uuni, autoklaavi ja pakastin sijoitettu poikittain tilaan nähden. Kaikille oville on riittävä ja tilava käynti sekä ikkunattomalle seinälle on tilaa sijoittaa avohylly. Lattia pinta-alaa työpisteille ei kuitenkaan ole juuri sen enempää kuin pölytilallisissa suunnitelmissa.



Kuva 16. Pohjakuva kun laitteet on sijoitettu tilaan nähden poikittain.

2.9.2 Laitteet pitkittäin tilaan nähden

Kuvassa 17 on laitteet sijoitettu pitkittäin tilan perälle. Myös tässä suunnitelmassa kaikille oville on tilava käynti. Lattia pinta-alaa työskentelylle on huomattavasti enemmän kuin edellisessä mallissa.



Kuva 17. Pohjakuva kun laitteet on sijoitettu tilan perälle pitkittäin.

2.10 Pohdintaa pohjakuvista

Laboratoriota suunnitellessa tulee ensiksi päättää, tehdäänkö tiloihin oma pölytyötila. Pölytilan hyvinä puolina on sen sijainti lähellä käyttäjää, ja se auttaa pitämään itse laminointitilan puhtana. Miinuspuolena se vie tilaa laitteilta ja on vaarana, että pölytila jää liian pieneksi, jolloin siellä on vaikea työskennellä. Tila täytyy myös rakentaa varhaisessa vaiheessa, ja sen muuttaminen jälkikäteen voi olla työlästä.

Pölytila myös estää tilan puutteen vuoksi prepreg-pakastimen sijoittamisen laboratorioon, mikäli siellä aletaan sellaisia käyttää. Tällöin pakastin täytyy sijoittaa muualle, esimerkiksi lentokonetekniikan projektitilaan E0-21.

Ilman pölytilaa laboratorion kehittäminen ja varustelu tulee olemaan vapaampaa, ainakin tilan puolesta. Tällöin on mahdollisuus sijoittaa laitteita ja säilytystiloja tarpeen mukaan, tarvittavassa järjestyksessä ajan kuluessa.

Muottien ja laminoitujen kappaleiden avaaminen ja kaikenlainen muokin työstäminen laminointitilassa varmasti osoittautuu suureksi kiusaukseksi ja on paljon mahdollista, että tällöin laminointitila ei tule säilymään ns. puhtaana tilana.

Hyllytilaa ei laboratoriossa kannata kovinkaan paljoa pitää, koska silloin on vaarana, että hyllyihin alkaa kertyä kaikkea turhaa tavaraa ja tilan puhtaanapito hankaloituu.

Työvälineet ja tarvikkeet on hyvä pitää työpisteiden lähetyvillä. Esimerkiksi vetokaappi hartsille on sijoitettu työpisteen lähelle, jolloin edestakaisin kulku vähenee, eikä myöskään tarvitse kuljetella kanistereita.

2.11 Komposiittilaboratorion kustannuksia

Laboratoriota varustellessa tulee luonnollisesti huomioida kustannukset. Välineiden kuten autoklaavin, alipainepumppu, letkut jne., osalta kulut ovat kertakuluja. Kulutustavara kuten säkityskalvot ja imuhuopa ovat kuitenkin edullisia hankkia.

Suurin yksittäinen kuluerä olisi autoklaavi, joka maksaisi noin 50 000 euroa (liite 1), eikä tähän hintaan sisälly tarvittavia lämpötilan ja paineen ohjauslaitteita.

RTM-välineistö on myös kertakulu. Täysi paketti (ylipainepumppu-sekoittaja-letkuineen), kuten Glascraft:n Spartan tai Spartan II Basic, maksaa noin 12 – 15 000 (+alv) euroa. Modernimmat asemat, joissa on muun muassa digitaalinen ohjaus, maksavat samalta valmistajalta jopa 34 000 (+alv) (liitteet 2 ja 3). On toki myös huomioitava, että nämä asemat on suunniteltu sarjatuotantokäyttöön.

Pelkkä yksinkertainen alipainepumppu, johon liitetään yksinkertainen valvontalaitteisto ja automaattiventtiilit, maksaisi noin 2 400 € (liite 4).

Kulutustavaran osalta kustannukset riippuvat suuresti tarvittavasta määrästä. Esimerkiksi noin 300 m² verran kulutustarvikkeita (kalvoa, huopaa, karhennuskangas jne.) maksaa noin 2 100 € (+alv), ja nykyisellä kulutuksella arvioisin tämän määrän riittävän noin 450 - 500 laminoitukertaan, jolloin yhden laminoitukerran hinnaksi muodostuu noin 4,2 – 4,6 € + lujitteet ja hartsit. Kannattaa myös huomata, että tämän määrän käyttämiseen nykyisellä kulutuksella menee aikaa useampi lukuvuosi. Liitteessä 5. on tarkempia hintoja tuotteista.

3 VIRTAUSMEKANIIKAN LABORATORIO

3.1 Tuulitunnelin tarve ja suunnittelu

Aerodynamiikka on yksi perusopeista ja kuuluu itsestäänselvyytenä, ilmailualan opetukseen. Ilman aerodynamiikkaahan eivät peltilinnut lentäisi. Tähän asti on TAMKissa aerodynamiikkaa opetettu käytännössä vain teoriassa, ilman havainnollistavia töitä tai esimerkkejä. Niinpä olisi ensiarvoisen tärkeää, että TAMK hankkisi tuulitunnelin opetuksen havainnollistamiseen.

3.1.1 Tuulitunneli

Tuulitunneli on yksinkertainen laite, jonka avulla voidaan tutkia kappaleen ominaisuuksia virtauksessa sekä sen ympärille muodostuvia voimia, painetta sekä vastusta. Tunnelissa on mittatila, johon luodaan tietyt olosuhteet virtausnopeudella, virtauksen laadulla (laminaarisuudella / turbulentsuudella) ja paineella. Mittatilan läpi joko puhalletaan tai imetään ilmaa.

3.1.2 Tuulitunnelin suunnittelu

Tuulitunnelia TAMKiin suunniteltaessa ja hankittaessa tulee lähteä liikkeelle käyttötarpeesta. Tuleeko tunneli pelkästään opetuskäyttöön vai halutaanko varata mahdollisuus myös tutkimukselle?

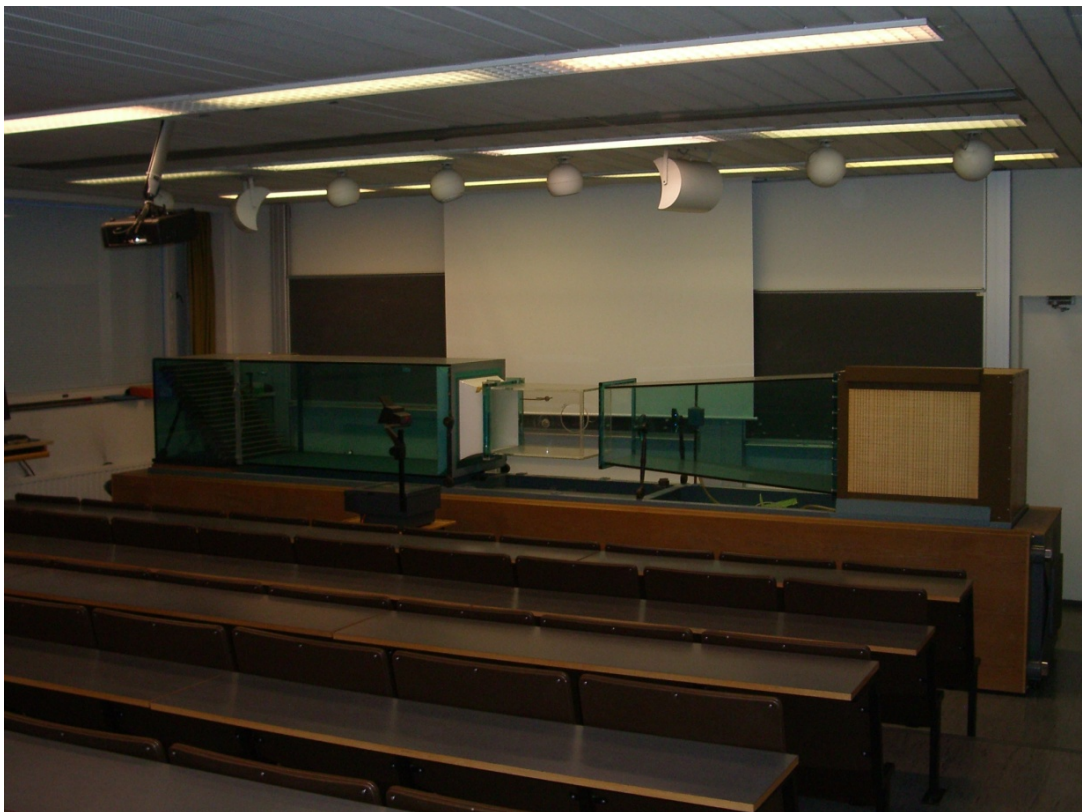
Pelkkä havainnollistamistunneli pystytään rakenteidensa osalta pitämään varsin yksinkertaisena ja kohtuullisen pienikokoisena. Jos taas halutaan tutkia erilaisia ja kokoisia kappaleita, tulee tunnelin mitta-alue mitoittaa riittävän kokoiseksi ja kaikki muut osat tunnelista sen mukaan, jotta tunneli kykenisi riittäviin suoritusarvoihin.

Laboratorion tila on ratkaiseva tekijä sekä myös, tehdäänkö itse rakennukseen muutoksia. Mahdollisten meluhaittojen osalta myös lähinaapurit tulee huomioida.

Tässä työssä oletetaan, että tunneli sijoitetaan konetalon toisessa kerroksessa sijaitsevaan tilaan F2-22, jossa myös säilyisi opetustila. Rakenteellisia muutoksia rakennukseen ei tehtäisi, joten tunneli olisi saatava sovitettua olemassa olevien seinien sisälle. Turvallisesti voi myös olettaa, että ylisooniset tunnelit jätetään pois laskuista ja keskitytään hitaan virtauksen tunneleihin.

Mikäli halutaan laaja-alaisempaa käyttöä, niin tunnelin suunnittelussa ja valinnassa tulee ottaa huomioon lentokonetekniikan ja ilmailun ohella myös muut kulkuvälineet kuten laivat suurine pintoineen sekä junat; ne ovat laitteita, joiden aerodynaamisilla ominaisuuksilla on suuria merkityksiä. Myös tuulien simulointia voi olla hyödyllistä mallintaa, esimerkiksi tutkittaessa lumen kinostumista rakennusten seinämille ja kulkuväylille. Eikä vähäisimpänä voi pitää TAMKin omaa Formula Student -projektiakaan.

Pelkkään havainnollistamiskäyttöön hankittavan tunnelin ei luonnollisestikaan tarvitse olla niin viimeisen päälle. Pienet, pöydälle sijoitettavat putket varmasti ajavat asiansa siinä tarkoituksessa. Eräs hyvä esimerkki tällaisesta on kuvassa 18. Tunneli on Aalto -yliopiston virtausmekaniikan luentosalissa. Kun tunnelia ei tarvita, se on pöydän sisällä ja käytettäessä se nostetaan ylös (kuvat 18 ja 19).



Kuva 18. Havainnollistamistuulitunneli luentosalissa.



Kuva 19. Tunneli laskettuna pöydän sisään.

3.2 Erilaisia tuulitunneleita

Tunnelit voidaan karkeasti jakaa pienoistunneleiksi ja todellisen kokoisiksi ja nämäkin ovat vielä jaettavissa edelleen avoimiksi suoraan virtaaviksi sekä rengasmaisiksi suljetuiksi, joissa samaa ilmaa kierrätetään.

Suurimmat erot tunneleissa on mittatilan koossa. Mitä isompi mittatila, sen enemmän tarvitaan energiaa ilman liikuttamiseen riittävällä nopeudella. Pienemmät tunnelit hyötyvät pienemmästä energian kulutuksesta, mutta mittatila on rajallinen. Suurissa tunneleissa on isot mittatilat, mutta niin myös moottorit ja energian tarve.

3.2.1 Alisooininen tunneli

Alisoonisessa tunnelissa Machin luku on alhainen, yleensä alle 0,3. Virtausnopeus on tällöin alle 400 km/h (111m/s) /11/. Ilmanvirtaus yleensä tehdään sähkömoottorilla. Tunnelit voivat olla hyvin erikokoisia, pienistä pöytämalleista suuriin, joissa voidaan testata kokonaista lentokonetta. Myös tunnelien suoritusarvot ovat laidasta toiseen. Kuvassa 18 onkin nähty pieni versio tunnelista ja kuvassa 20 hieman isompi sovellus.



Kuva 20. Tuulitunnelin potkuri GM Tech Centerissä.

/8/

3.2.2 Transsooninen tunneli

Transsoonisen tunnelin virtausnopeus on 1,2 Machiin saakka. Tunnelit on toteutettu kuten alisoonisit, mutta huomattavasti tehokkaammilla moottoreilla. Monissa tunneleissa on vielä virtausta tehostettu korkeapaineisella ilmalla. /11/

3.2.3 Ylisooninen ja hypersooninen tunneli

Ylisoonisessa tunnelissa virtausnopeus on 5 Machiin asti ja hypersoonisessa siitä lähtien aina 50 Machiin. Nämä tunnelit ovat poikkipinta-alaltaan huomattavasti pienempiä entä ali- ja transsooniset tunnelit. Virtaus toteutetaan korkeapaineilmalla, noin 200 bar. Mittaus yleensä kestää noin 10-15 s. /11/

3.3 Virtausmekaniikan laboratorio

3.3.1 Tila-, laitteisto- ja välinetarve

Lähtökohtana on suunnitella tunneli, joka vastaa TAMKin tarpeita ja sijoitetaan tilaan F2-22. Näin ollen tila on jo valmiina, mutta luo uuden haasteen, koska kyseinen tila on tarkoitus jatkossakin pitää luokahuoneena. Tällöin siis laboratorio toimisi samassa opetustilassa. Ongelma se ei ole, sillä päällekkäin toimintoja ei ole tarkoitus

käyttää. Tuulitunnelille täytyy vain löytää sopiva sijoituspaikka, niin että se häiritsee tilan muuta käyttöä mahdollisimman vähän.

Alustavasti suunniteltuna tuulitunneli tulisi tarvitsemaan pari työpistettä sekä tietokonetyöpisteen, jolla tunnelia mitataan.

3.4 Tuulitunnelin valinta

Jatkossa käsitellään tunnelia ajatuksella, että se tulee olemaan kokoluokaltaan noin viisi metriä pitkä ja mittatilaltaan noin puoli metriä leveä. Leveimmillään tunneli olisi noin 1,5 metriä. Mikäli näillä mitoilla tunneli todetaan liian isoksi, niin ei ainakaan tilan ja sijoittelun puolesta tule tilanpuuteongelmaa, kun tilalle sovitetaan pienempää laitetta.

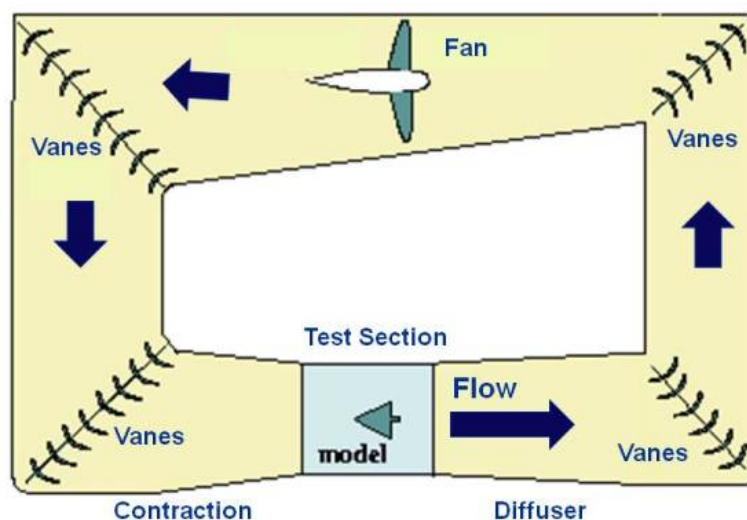
3.4.1 Hitaan virtauksen suljettu tunneli

Samaa ilmaa kierrättävä rengasmainen tunneli, joka pienenä versiona sopii hyvin myös sisätiloissa käytettäväksi. Pitkän käytön seurauksena ilma putkessa lämpenee. Melutaso on suljetulla tunnelilla hiljaisempi kuin avoimella tunnelilla, joka on sijoitettu samaan tilaan puhaltavaksi.

National Aeronautics and Space Administration



Closed Return Wind Tunnel



www.nasa.gov

3.4.2 Hitaan virtauksen avoin tunneli

Tunneli imee ilmaa alkupäästä ja puhaltaa toisesta päästä ulos. Virtaus mittatilaan voidaan joko puhaltaa tai imeä. Tunneli on hyvä rakentaa niin, että ilma poistuu tilasta esimerkiksi suoraan ulos, ettei tuuli häiritse laboratoriossa. Lämpötila pysyy suhteellisen vakiona, koska ilma tulee laboratoriotilasta.

Ilmavirta voi häiriintyä esimerkiksi oven availusta ja ilmastoinnista. Melutaso pysyy aisoissa, jos puhallus johdetaan laboratorion ulkopuolelle.



Kuva 22. Avoin pöytämallinen tuulitunneli

/10/

3.5 Laboratorion pohjasuunnitelmat

Kaikissa pohjasuunnitelmissa on lähtökohtana, että tilaan jää riittävästi tilaa luokkakäyttöä varten noin 20 henkilölle. Niinpä tunnelin paikaksi tulee aina seinän vierus.

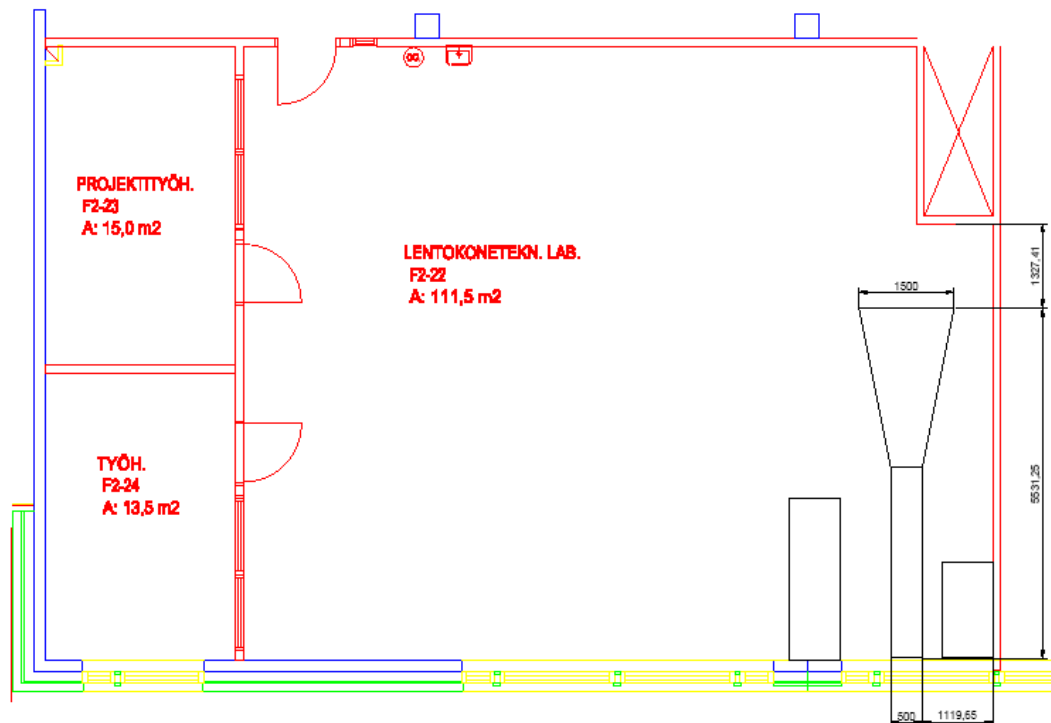
3.5.1 Avoin tunneli ulos puhaltavana

Käytännössä ainoa järkevä tapa toteuttaa ulos puhaltava tunneli tilasta on työhuoneesta nähdessä kauimmaisen ikkunan kautta. Toki ulosvienti onnistuu muistakin ikkunoista, mutta silloin tunneli vie kohtuuttomasti tilaa muulta

toiminnalta. Kuten myös pohjakuvasta (kuva 23) näkee, tunnelin pituus on rajattu, tai sen joutuu kääntämään hieman sivuun ilmastointihormin vuoksi, joka muodostaa haitan käytävän puoleiseen nurkkaan. Työpöydät on sijoitettu tunnelin molemmin puolin, mittatilan lähetyville. Kulku seinävieruspöydälle olisi tunnelin alta, jos tunnelin loppupään nostaa ylös kuten kuvan 24 tunnelissa on tehty.

Itse tunneli myös muodostaa haitan olemassa olevien luokkavarusteiden eteen, liitutaulu ja videotykki kun ovat päätyseinällä. Yksi mahdollisuus on siirtää liitutaulu videotykkeineen käytävän puoleiselle seinälle. Toinen helpohko tapa on pystyttää aivan tunnelin viereen esimerkiksi kevyt seinä (kuvaa katsoen vasemmalle puolelle), jolle liitutaulu siirretään, jolloin tunneli jää kahden seinän väliin ja luokkatilan katsesuunta jää alkuperäiseksi.

Sama tilanne pätee myös suljetulle tunnelille, tietenkään silloin ei ikkunalle tarvitse tehdä mitään.



Kuva 23. Avoin tuulitunneli ulos puhaltavana

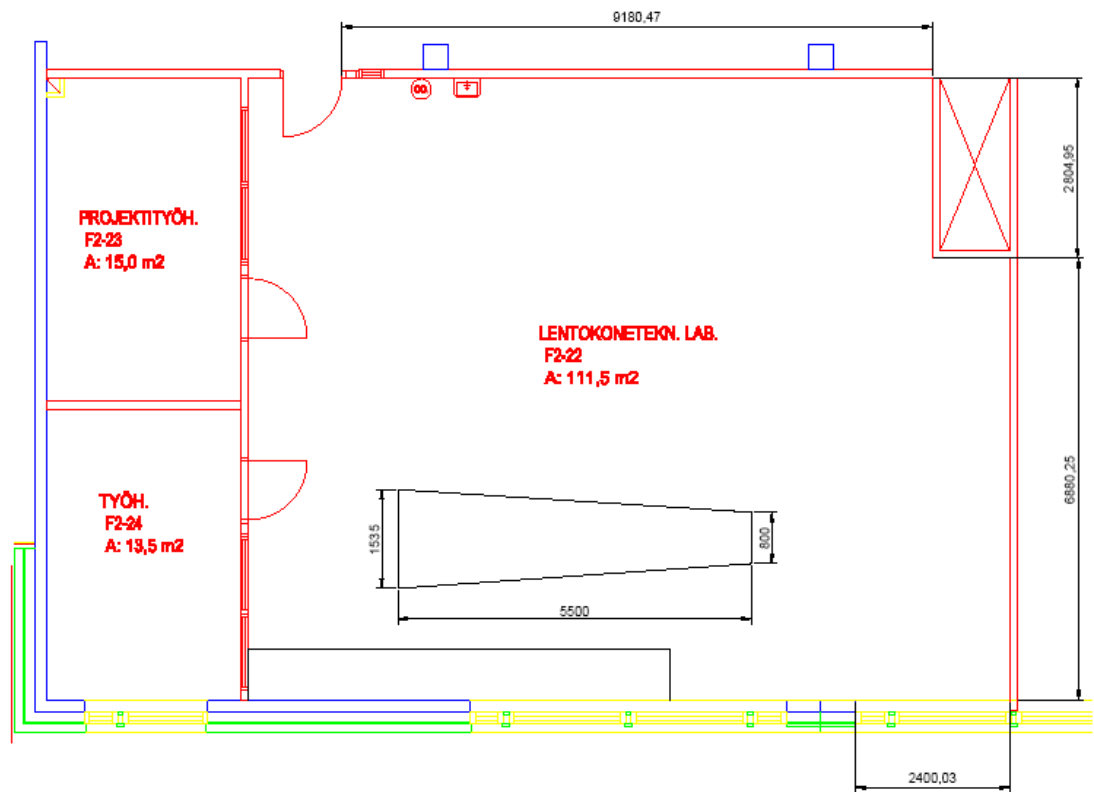


Kuva 24. Aalto yliopiston avoin laminaarisen virtauksen tunneli.

3.5.2 Avoin tunneli sisälle puhaltavana ja suljettu tunneli

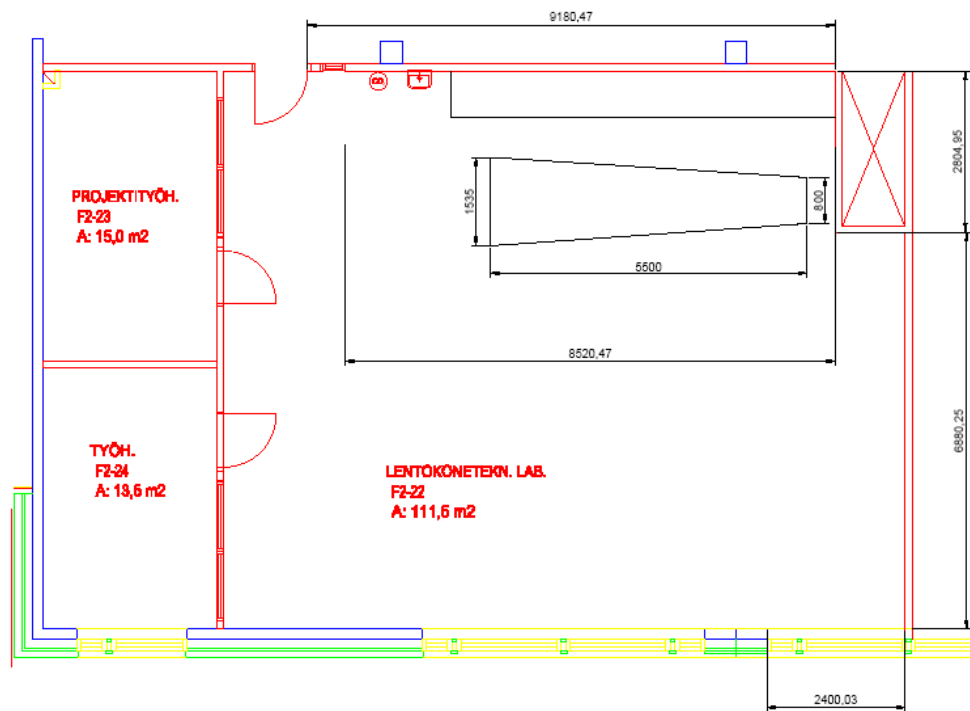
Seuraavissa pohjakuvissa tunneli voi aivan hyvin olla joko suljettu tai avoin. Oletetut mitat 1500 x 5500 mm ovat jokseenkin lähellä totuutta ja kuten kuvista näkee, on suuremmallekin tunnelille tilaa. Tietysti huonekorkeus rajaa korkeutta jossain vaiheessa, mutta tunnelin korkeaksi tekeminen ei ole mitenkään tarpeellista, saati sitten käytännöllistä.

Kuvassa 25 tunneli on sijoitettuna ikkunoiden eteen. Työpisteet tulisivat tunnelin ja seinän väliin. Tähän sijoitettuna tunneli olisi paraatipaikalla, mutta luokan tila pienenee huomattavasti (naamasuunta käytävälle päin) ja kuvassa oikealle seinälle uhkaa muodostua hukkatilaa.



Kuva 25. Tunnelin sijoitus ikkunoiden eteen

Seuraavassa pohjakuvassa (kuva 26) on tunneli sijoitettu käytävän puoleisen seinän viereen. Työpisteet sijaitsevat seinustalla. Tähän sijoitettuna tunneli vie kaikista vähiten tällä hetkellä käytössä olevaa lattiatilaa, sillä tämä ”nurkkaus” on toiminut lähinnä varastointitilana. Luokkakalusteet säilyisivät jotakuinkin paikallaan. Kuvassa on myös mitoitettu maksimipituus tunnelille, joka voi olla siis noin 8,5 metriä pitkä suljettuna ja avoimena vähemmän.



Kuva 26. Tunnelin sijoitus käytävän puoleiselle seinälle.

3.6 Pohdintaa pohjakuvista

Pohjakuvista näkee selkeästi, että tunnelin voi sijoittaa oikeastaan mille vain seinustalle tässä tilassa, annettujen mittojen mukaisena. Päätysinä sekä ikkunallinen seinä sijoituspaikkana tosin vaativat luokkakalusteiden siirtoa lähinnä käytävän puoleiselle seinälle. Kuvan 26 mukaisesti ”poteroon” sijoitettuna tunneli aiheuttaa kaikkein vähiten harmia luokkaopetuksen järjestämiselle. Mielestäni kannattaa tutkia mahdollisuus hankkia suljettu tunneli riittävän isolla mittatilalla ja sijoittaa se kuvan 26 mukaisesti. Silloin ainakin toteutuu vaatimus tilan kaksoiskäyttömahdollisuudesta ja meluhaitat pysyvät todennäköisesti pienempinä.

4 Yhteenveto ja omia pohdintoja

Työn tarkoituksena oli luoda TAMKin kone- ja tuotantotekniikan osastolle suunnitelma komposiitti- sekä virtausmekaniikan laboratorioista. Komposiittitöitä ja projekteja on paljon jo tehtykin, mutta töiden oma luonne vaatii omat, selkeät tilat ja välineet toteutukselle. Muuten olisi sama tehdä laminointityöt vaikka autotallissa, materiaalihukka olisi sama. Komposiittitöitä varmasti tullaan tekemään TAMKissa

jatkossakin, joten oma riittävä tila työvälineineen on mielestäni välttämätön, varsinkin siksi, että sillä on suotuisa vaikutus työterveyteen.

Välineet komposiittien valmistukseen ovat kalliita autoklaavin maksaessa noin 50 000 ja RTM-aseman yli 10 000 euroa. Hieman yksinkertaisemmalla toteutuksella toimivan systeemin voi kyllä hankkia jopa viidenneksellä edellisestä. Käytettyjä välineitä voi myös kysellä yritysiltä, varsinkin autoklaavia, mutta marraskuun 2009 – tammikuun 2010 aikana en näitä itse löytänyt Suomesta myynnissä. Hintataso autoklaaveilla säilyy käytettynäkin hyvin.

Autoklaavin hankinta kannattaa selvittää lähitulevaisuudessa, mutta niin kannattaa myös selvittää yhteistyömahdollisuudet laitosten ja yritysten kanssa, joilla on autoklaavi jo olemassa. Ei kaikkea tarvitse itse omistaa tai tehdä.

Mielestäni TAMKissa tulisi mahdollisimman pian aloittaa komposiittilaboratorion valmistelu, vaikkapa ensin hankkimalla laboratorioinsinööri, joka ottaisi vetovastuun. Näin projekti saisi vetäjän, joka myöhemmin hallinnoisi laboratoriota.

Selvitettäviä asioita laboratorion tiimoilta tulee olemaan autoklaavin hankinta tai paremminkin sen tarve ja siihen liittyen yhteistyömahdollisuudet alueen yritysten kanssa. RTM-välineet ja muut tarvikkeet on luonnollisesti suotavaa hankkia samalla kun tila on saatu muutettua laboratoriolle sopivaksi.

Tilojen osalta en pidä mahdottomana, että tulevana lukukautena olisi opetusta tai opiskelijaprojekteja käynnissä uudessa laboratoriossa.

Virtausmekaniikan osalta meillä ei ole ollut oikein mitään muuta konkreettista kuin kirjat ja keväisin sulava lumi. Niinpä on ensiarvoisen tärkeää, että TAMKiin hankittaisiin tuulitunneli ja sitä alettaisiin käyttää opetuksessa. Tässä työssä olen todistanut, että sellainen on fyysisesti mahdollista saada sopimaan samaan tilaan luokkaopetuksen kanssa, sekä on myös mahdollista toteuttaa tunneli riittävällä mittatilalla, jotta sen käyttö olisi monipuolista ja useita aloja palvelevaa.

Selvitettävää tuulitunnelin osalta jää vielä esimerkiksi sen hankinta. Luultavasti taloudellisesti kannattavampaa on suunnitella tunneli opiskelijaprojektina ja toteuttaa joko itse tai sitten teettää yhteistyökumppanilla. Tunnelin suunnittelusta saa helposti haastavan aiheen vaikka opinnäytetyölle.

Yhtenä työnä näitä kahta erilaista suunnitelmaa ei ollut mitenkään helppo tehdä. Vähäisimpänä vaikeutena ei ollut ajatusten sotkeentuminen puolelta toiselle ja yritys pitäytyä määritellyissä rajoissa. Liika mielenkiintokaan aihetta kohtaan ei tunnu olevan hyväksi. Komposiittiaiheista materiaalia on hyvin saatavilla, niin painettuna kuin netistä, mutta tuulitunneleista on todella huonosti painettua sanaa yliopistojen kirjastoissa. Onneksi TAMKin kirjastosta löytyi vuodelta 1966 oleva alan perusteos, jota vieläkin käytetään ahkerasti.

Kaikesta huolimatta uskon, että näiden suunnitelmien pohjalta laboratorioita on hyvä lähteä kehittämään eteenpäin.

LÄHDELUETTELO

Keskustelut ja materiaali:

6. Kassu Grönlund, Gav Oy. 27.1.2010

Internet-lähteet (kaikkiin on viitattu tammikuun 2010 aikana):

1. Google kuvahaku, hakusanat "hiilikuitu", "matto"
2. www.composite-integration.co.uk
3. <http://www.hengitysliitto.fi/Home/Muutteisailmaongelmat/Styreeni/>
4. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Bisfenoli-A>
5. <http://www.nauticexpo.com>
7. <http://www.m-erikoiskaluste.fi/>
8. <http://cache.jalopnik.com/assets/resources/2008/04/wind-tunnel.jpg>
9. <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/Images/tuncret.jpg>
10. <http://www.greenbuilding.pdx.edu/Images/WindTunnel.jpg>
11. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Tuulitunneli>

Kaikki kuvat, ellei muuta mainita, ovat tekijän omia.

LIITTEET

1. GaV Oy, budjettitarjous autoklaavista 27.01.2010 nro. 10.7806
2. Nipema Oy, Glascraft tuote-esite
3. Juha Nikkilä, sähköposti, Glascraft hintoja. 1.3.2010
4. KG Enterprise Oy, kevyt RTM tuoteluettelo 2009
5. Kevra Oy, tarjous kevyt RTM tuotteista 02.03.2010 nro. 1051

27.01.2010 1 (2)

TAMK
Aku Lantto
e-mail aku.lantto@me.tamk.fi

Kiitämme kyselystänne ja tarjoamme Teille alustavasti.
Tämä on kuitenkin vain arviotarjous, joka on annettu rahoitussuunnitelman
tekoa varten. Lopullisen tarjouksen hinnat ja ehdot voivat poiketa
budjettitarjouksesta.

- 1). 1 kpl **AUTOKLAAVI AK-1000 x 2000**
- Sisähalkaisija 1000 mm
 - Vaippapituus 2000 mm
 - Säiliö varustettuna kahdella jalalla
 - Säiliön toisessa päässä manuaalinen päädyn avaus
 - Päädyn avaukseen tarvittavat laitteistot
 - Mekaaninen tahattoman aukaisun estin ja siihen kytketty impulssiyhde palloventtiileineen
 - Ulkopuolinen pohjamaalaus
 - Lämpöeristys 100 mm
 - Tarvittavat yhteet + yhteet komposiittikäyttöä varten
 - Alipainepumppu
 - Takapäädyssä laippa puhaltimelle, sokeoitu
 - Suunnittelupaine 1,0 MPa ja alipaine
 - Suunnittelulämpötila 200°C
 - Lujuustarkastelu staattisesti kuormitetulle rakenteelle
 - Mitoitus, valmistus ja tarkastus PED 97/23 EY EN 13445 1...5
 - Valmistusmoduli G
 - Lämmitysvastukset asennettuina
 - Painemittari, tarkastushana, lämpömittari
- 2). **SIIRTOKÄRRY JA LASTAUSVAUNU**
- Lastausvaunu aihoiden lastausta varten
 - Pyörillä varustettu lastauskärry, jossa kiskot lastausvaunua varten

27.01.2010 2 (2)

3).

SÄHKÖLAITTEET

- Kytkenäkotelot lämmitysvastuksille ja termostaateille
- Prosessiaikakello

Venttiilit

- Paineensäätöventtiili
- Poistovenntiili
- Varovenntiili
- Paineilman tulon sulkuventtiili

4).

**LAITTEIDEN ASENNUSTYÖT
ASENNUS TOIMINTAKUNTOON NOKIALLA**

- Autoklaavin asennus
- Tarvittavien putkistojen asennus
- Äänenvaimennin poistoputkessa
- Antureiden ja venttiilien kytkentä
- Käyttöopastus
- Tilaaja hoitaa sähkösyötön, paineilman ohjauskeskukseen sekä huolehtii rakennusteknisistä töistä (aukot seinässä tms)

5).

ASIAKIRJAT

- Painelaitedokumentaatio
- Käyttö- ja huolto-ohjeet

Hinta

Kokonaishinta EUR 48.000+ALV

Toimitusaika

Viisi (5) kuukautta tilauksesta

Toimitusehto

Asennettuna Tampereella

Maksuehdot

40 % tilattaessa
60 % toimitettaessa

Kaikki laskut 21 pv netto

Muut ehdot

NLM02
Tarjouksemme on voimassa 26.02.2010 asti.

GaV Group Oy, Paimio



Kassu Grönlund

puh (ohivalinta) 010 830 9248/050 563 0803

e-mail kassu.gronlund@gavgroup.fi

Resin Transfer Molding Systems

Dispensing Equipment for RTM and Light RTM Applications



GlasCraft® RTM Systems

A full line of solutions for resin transfer molding

Resin transfer molding (RTM) is a closed mold manufacturing process. Finished parts are made by introducing polyester or vinyl ester resins into closed molds containing fiberglass, carbon or other reinforcements.

Whether your process is traditional RTM, Light RTM, Vacuum Infusion Process (VIP), Closed Cavity Bag Molding (CCBM), or other similar process, GlasCraft offers a complete line of RTM systems to fit your application.

GlasCraft RTM Systems provide control at low pressure – the key to successful Light RTM injection

- Engineered for low-pressure injection of polyester and vinyl ester resins
- Accu-Pressure sensor monitors and controls pressure
- Entry-level to automated, high-volume production models are available

Typical applications:

- Marine and watercraft
- Pool and spa
- Bathware
- Consumer products
- Automotive panels and parts
- Aircraft components

Touch-screen PLC

Programmable machine functions – from injection volume to catalyst ratio (depending on options)



Positive Feed Catalyst pump

Allows for infinite adjustment of catalyst percentage – no tools required

Air Purge/Solvent Flush

For quick, efficient maintenance cleaning

Accu-Pressure Sensor

- Regulates, monitors and controls injection pressure
- Stops material from dispensing if injection pressures go above the user set point
- Prevents molds from becoming over-pressured

Superior recirculation

- Allows resin and catalyst to cycle to the dispense head and back to the containers, unmixed
- Keeps pigments and fillers suspended in the resin
- Allows line to be de-gassed without wasting material

Spartan Dispense Head

Provides excellent mix of resin and catalyst, and trouble-free injection as well



Advanced features for automated, high-volume RTM production

Advanced GlasCraft models are available with the following:

Touch screen PLC

Programmable logic controller allows you to program injection volume and catalyst ratio settings. Reduces operator error. Results in less wasted material and improved productivity.

Programmable digital air/solvent flush

Flushes out the static mixer with a pre-programmed amount of solvent. Can be used in combination with the air purge function for extra cleaning power.

Programmable Automatic Catalyst (PAC)

Ideal for manufacturers of larger parts. PAC allows you to program and adjust catalyst ratios for the injection cycle. By reducing the catalyst required for the first infusion of material, and increasing the catalyst during the last part of the infusion cycle, the part cures at a more even rate.

Programmable Radio Frequency Identification tags (RFID)

Each mold in your plant gets a unique RFID tag that you program with specific parameters such as amount of resin required and a catalyst injection profile. The operator simply scans the tag and the machine automatically loads the pre-programmed settings. RFID tags eliminate operator error and programming errors, and save wasted material as well.

In addition, RFID tags provide your facility with unlimited programming potential. That's because the system only stores the current RFID tag's dispense parameters. Since all molding parameters are stored on each chip, you can have an unlimited number of RFID-tagged molds in your production facility.

Password Protected PLC

Spartan 3 PLC with PAC and RFID systems are designed with password protection so that operators cannot change mold settings and parameters.

Advantages of RTM

A growing number of companies are moving to closed mold processes because it offers many significant benefits:

- Less wasted material
- Faster gel and cure times
- Uniform part size and thickness
- Consistent material usage
- Finished surface on both sides
- Reduced VOC emissions – less environmental impact
- Higher glass content which results in lighter weight parts



Spartan



Spartan II Basic



Spartan II Deluxe



Spartan 3 PLC



Spartan 3 PLC with PAC



Spartan 3 PLC with PAC & RFID

Feature	Entry level designed for RTM high-pressure injection	For all forms of closed molding	For all forms of automated closed molding	For all forms of automated closed molding with touch-screen programming	For all forms of high-volume, automated closed molding	For all forms of closed molding; designed to simplify high-volume production when numerous mold sizes are used
Complete recirculation	•	•	•	•	•	•
Pneumatic trigger	•	•	•	•	•	•
Air/Solvent flush	•	•	•	•	•	•
Low-pressure injection	•	•	•	•	•	•
Spartan dispense head	•	•	•	•	•	•
Positive feed SSP catalyst slave pump	•	•	•	•	•	•
Stroke counter		•	•	•	•	•
Auto-valve ready		•	•	•	•	•
Low-pressure injection with Accu-Pressure		•	•	•	•	•
User-friendly control panel		•	•	•	•	•
Dispense timer			•	•	•	•
Adjustable independent solvent flush			•	•	•	•
Independent air flush toggle switch			•	•	•	•
Adjustable gel timer			•			
Touch-screen programmable				•	•	•
30 programmable injection settings				•	•	•
Programmable digital air/solvent flush				•	•	•
Programmable automatic catalyst					•	•
Programmable radio frequency identification tags						•
Unlimited programming						•
Password protected						•

Ordering Information

21650-00	Spartan	23280-02	Spartan 3 PLC
23200-00	Spartan II Basic	23280-00	Spartan 3 PLC w/PAC
23240-00	Spartan II Deluxe	23280-01	Spartan 3 PLC w/PAC & RFID

Specifications

Air consumption	35 cfm @ 100 psi (991 lpm @ 6.8 bar) at maximum pump output
Material pump capacity	2.5 gpm (9.5 lpm)
Pump output	.05 gal per cycle 20 cycles = 1 gal 5 cycles = 1 liter
Max Output Pressure	1,300 psi (89 bar, 8.9MPa)
Catalyst Range	0.5% to 3.5%

Repair Kits

Catalyst Pump	
LPA-190-RK	Complete rebuild kit
LPA-190-SK	Seal kit
Air Motor (5-in)	
20101-00	Complete service kit
20107-00	Pilot valve kit
20106-00	Main valve kit
20105-00	Gasket kit
20104-00	Stroke signal repair kit
20103-00	Rod seal kit
20102-00	Piston rod seal kit

Fluid Section

21570-00	5:1/11:1 Repair kit
----------	---------------------

Check Valves

21675-00	Resin check valve
21664-00	Solvent/air purge check valve
23547-01	Catalyst check valve
21676-00	Washer, crush, nylon, .52 ID
22904-00	Stem check valve
21044-02	Silicone o-ring
23540-00	Catalyst body check valve
22906-00	Washer, crush, nylon, ¼ ID
23524-01	Compression spring
22908-00	Round nut

Mixer

20625-00	Static mixer
----------	--------------

Call today for product information or to request a demonstration.

800-746-1334 or visit us at www.graco.com.

Lähtettäjä: Juha Nikkilä [juha.nikkila@nipema.fi]

Lähetetty: 1. maaliskuuta 2010 18:09

Vastaanottaja: Aku Lantto

Aihe: Re: Infoa ja hintoja

Liitteet: 340040A.pdf

Terve,

Ohessa esite, esitteen viimeisellä sivulla laitteiden koodit Ordering Information.

Hintoja:

21650-00 12490,-

23200-00 15110,-

23240-00 21380,-

23280-02 25080,-

23280-00 30910,-

23280-01 34060,- hinnat alv 0 %

Nuo kaksi ensimmäistä mallia on yleisimmin käytettyjä.

T:








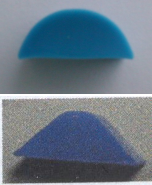



Juha Nikkilä

0400 415483

Kevyt-RTM - tarvikkeet 2009



Kevyt-RTM valmistustekniikan parhaat tarvikkeet kilpailukyiseen hintaan

	KOODI	KUVAUS
	2146V-UNI € 79,50	<u>Pikaliittimellä varustettu hartsiloukku</u> Kuvassa näkyvä ikkunallinen hartsiloukku. Runko on tehty ruostumattomasta teräksestä. Loukkuun voidaan liittää ylitäyttöä estävää varmuuslukkoa
	6003 € 270,00	<u>Monikanavainen, iso hartsiloukku</u> Tämä iso hartsiloukku toimitetaan täydellisenä irrallisella 10 l polyteeniastiialla, jossa kansi, lasi-ikkuna ja manometri. Loukussa on neljä (tai useampi alipaineliitäntä) ja GEKA liitäntä alipainepumppuun ja lähtöliitäntä 10/8 mm nailonletkun kautta alipainepumppuun.
	6316 € 20,40	<u>Uusi yleisliitin</u> Uudentyyppinen yleisliitin, johon voidaan nopeasti ja varmasti liittää kaikki MVP:n ohjelmaan kuuluvat osat. Liitin on suunniteltu mm seuraaville laitteille: Turbo AutoSprue (5855), PVSensor (5801), injektointiliittimet (6319-10 ja 6319-6), alipaineliitin (6318), hartsiloukku (2146-view), ilmaventtiili (ASSY-0365) ja umpitulppa (6328)
	1680 € 5,50/m 5895 € 7,80/m	<u>Vastamuotin ulkoreunan alipainetiiviste neoprenista</u> Erittäin hyväksi havaittu neoprenikumitiiviste kaikille Kevyt-RTM-vastamuoteille. Helppo asentaa, liittää ja tiivistää. Sopii erityisesti 26 x 13 mm uraan. Uran tekoon suositellaan urakalibrointilista osa 3391. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i> <u>Vastamuotin ulkoreunan alipainetiiviste silikonista</u> Kuten yllä mutta materiaalina silikoni. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i>
	3391 € 13,60/m	<u>Uudelleen käytettävä ulkoreunan tiiviste urakalibrointilista</u> Antaa nopean kalibroinnin 26 x 13 mm uralle (osille 1680 tai 5895). Suosittelemme Superliiman käytön listan kiinnittämiseen kalibrointivahalevyn päälle. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i>
	3202 € 3,50/m	<u>Vastamuotin sisäpuolen staattinen alipainetiiviste</u> Tasomaisten laippojen sisäpuolinen alipainelukitusvyöhykkeen tiiviste joustavasta silikonista antaa pitkää kestoikää. Sopii 10 x 5 mm uraan, jonka kalibrointiin suosittelemme listaa osa 0002. Tiivistysjousto 1 mm. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i>
	0002 € 2,20/m	<u>Uudelleen käytettävä sisäpuolisen staattisen alipainetiiviste urakalibrointilista</u> Mitat: 10 mm x 5 mm. Ihanteellinen kalibrointiprofiili nopean ja tarkan tiivisteeseen (osa 3202) uran kalibrointiin. <i>Toimitetaan 25 jm erissä</i>
	4530 € 8,40/m 6438 € 8,10/m	<u>Uudelleen käytettävä hartsikanavan kalibrointilista</u> Muotoiltu oikeanmuotoisen hartsin juoksutuskanavan kalibrointiin vastamuotin laippaan. Käytetään vastamuotin laipan laminoinnin yhteydessä. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i> <u>Uusi uudelleen käytettävä pieni hartsikanavan kalibrointilista</u> Muotoiltu oikeanmuotoisen hartsin juoksutuskanavan kalibrointiin vastamuotin laippaan. Käytetään vastamuotin laipan laminoinnin yhteydessä. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i>
	1114 € 4,30/m 6439 € 12,70/m	<u>Vastamuotin sisäpuolen dynaaminen alipainetiiviste</u> Ammattikäyttöön tarkoitettujen Kevyt-RTM muottien dynaamiseen tiivistämiseen. Voidaan puhaltaa/tyhjentää Vacuminder Standard (osa 3229) alipainepumpulla. Mahdollistaa sellaisten muottien valmistuksen/käyttöön, joissa on erimuotoisia laippaosia tai/joista ei ole päästökulmia. Itsestään säätelvä. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i> <u>Uusi sisäpuolinen alipainetiiviste</u> Tämä uusi tiiviste korvaa dynaamisen tiivisteeseen (osa 1114) muoteissa joissa on lähes suorat laipat ja joissa halutaan hyödyntää staattisia tiivisteitä niiden yksinkertaisuuden takia.
	3340 € 6,80/m	<u>Uudelleen käytettävä dynaamisen alipainetiiviste urakalibrointilista</u> Antaa nopean kalibroinnin dynaamisen tiivisteeseen uralle. Suosittelemme Superliiman käytön listan kiinnittämiseen 1 mm laipan kalibrointivahalevyn päälle. <i>Toimitetaan 25 jm kiepissä</i>
	2056 € 48,00	<u>Dynaamisen tiivisten asennussarja</u> Käytetään dynaamisen tiivisteeseen (osa 1114) asennukseen vastamuotin laippaan. Sarja sisältää muotilaippaan kiinnitettävän asennusistukan, nylon liitosletkun, letkun jatkokappale, silikoniletkun tiivisteeseen päiden liittämiseen tiiviiksi letkuksi sekä käyttö- ja asennusohjeen.

	<p>6319-10 € 23,70</p> <p>6319-6 € 21,00</p>	<p><u>10 mm hartsin syöttöputken kiinnitysistukat</u> 10/8 mm hartsin syöttöputkien nopean ja varman liittämiseen vastamuotin laippaan. Sisältää PTFE vuorauksen, jonka ansiosta syöttöputki liukuu helposti sisään ja ulos istukasta ja pysyy puhtaana käytön aikana.</p> <p><u>6 mm hartsin syöttöputken kiinnitysistukat</u> 6/4 mm hartsin syöttöputkien nopean ja varman liittämiseen vastamuotin laippaan. Sisältää PTFE vuorauksen, jonka ansiosta syöttöputki liukuu helposti sisään ja ulos istukasta ja pysyy puhtaana käytön aikana.</p>
	<p>6318 € 15,65</p>	<p><u>10 mm istukka vastamuotin lukitusaliapaineen liittännälle</u> 10/8 mm alipaineliitäntä, joka helpottaa alipaineen liittämistä laipan lukitusvyöhykkeeseen. Pysyvä kiinnitys laipan alipainelukitusalueeseen tehdään laminoimalla. Sopii sekä päämuottiin että vastamuottiin.</p>
	<p>6328 € 24,00</p>	<p>Umpitulppa kaikille muotissa oleville käyttämättömille liittännöille.</p>
	<p>3370 € 20,60</p>	<p><u>Laipan pikalukko</u> Edesauttaa muottipuoliskojen nopeaa yhteen puristamista ennen kuin lukitusaliapaine saadaan toimimaan täydellä teholla. Voidaan ruuvata kiinni päämuotin laipan alle asennettavaan puulistaan tai RHS - putkikehykseen. Toimitetaan täydellisenä asennusohjeilla.</p>
	<p>ASSY-0365 € 145,70</p>	<p><u>Pneumaattinen ilmapurkausventtiili kappaleen hellävaraisen irrottamiseen muotista</u> Venttiili laminoidaan pysyvästi kiinni päämuotin keskipisteen alueelle. Venttiilin pää jää tarkalleen samalle tasolle kuin muottipinta eikä jätä kappaleeseen minkäänlaista jälkeä. Nappia painamalla venttiilin keskellä oleva nailonkartio painuu sisään (päinvastaisesti kuin perinteinen ulostyöntäjä) ja paineilma, joka virtaa kappaleen ja muotin väliin ja nostaa kappaleen irti muotista. <u>Ohjauksyksikkö täydellisenä liittimillä ja pneumaattikaletkuilla.</u></p>
	<p>5855 € 223,00</p>	<p><u>Turbo Autosprue automaattinen injektioventtiili</u> Kytetään injektointilaitteen ja muotin väliin. Vähentää syöttöletkujen tarvetta ja vähentää kustannuksia ja hukkaa. Antaa puhtaampaa ja tehokkaampaa hartsin syöttöä. Laite ohjautuu ja puhdistuu automaattisesti kun se on liitetty MVP:n injektointilaitteiden ohjauksyksikköihin.</p>
	<p>5797 € 192,85</p> <p>5801 € 640,00</p>	<p><u>PVSensor</u> Valvoo muottiontelon sisäistä alipainetta suhteessa ilmakehän paineeseen. Muutaman millibaarin muutos välittyy automaattisesti injektointilaitteeseen joka heti tasapainottaa hartsin syöttötehoa oikealle tasolle häiriöttömän injektoinnin takaamiseksi.</p> <p><u>PVSensor täydellinen järjestelmä</u> Sisältää Teflonpintaisen millibaaritunnistimen, muottikiinnitysistukan, virtalähteen, elektronisen säädettävän/lukittavan digitaalisen ohjauksyksikön ja laiteliitäntän.</p>
	<p>3229 € 1493,00</p> <p>3228 € 795,00</p>	<p><u>Vacuminder Standard</u> Alipainepumppu kahdella alipainetuotolla ja ylipaine/alipaineyksiköllä. Pumpun ejektorialipaine-pumput tuottavat sekä muottipuoliskojen lukitukseen tarvittavaa suurta alipainetta että muottionteloon tarvittavaa pienempää alipainetta. Alipainegeneraattoreita voidaan sulkea kun riittävät tyhjiötasoja on saavutettu. Tässä mallissa on myös dynaamisen tiivisteiden paineistus- ja tyhjennysohjaus.</p> <p><u>Vacuminder Basic</u> Sama pumppu kuin Vacuminder Standard, mutta ilman dynaamisen tiivisteiden ohjausoptiota</p>

Maahantuoja: KG Enterprise Oy
 Käyntiosoite: Väiskinkuja 2, 04500 KELLOKOSKI

puh. (09) 282 660
 telekopio (09) 282 616

kotisivut www.kgenterprise.fi

Kenneth Gauffin GSM 040 505 1425
 e-mail kenneth.gauffin@kolumbus.fi

Jukka Leinonen GSM 0400-301 695
jukka.leinonen@pinteco.fi



Ylästöntie 121 A -01740 VANTA

Tarjous

Tarjous nro.
Pvm

1051
02.03.10

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Teiskontie 33
33520 TAMPERE

Asiakas nro. 1269
Viitteenne
Tarjouksenne nro.

Toim. tapa Matkahuolto
Kuljetusliikkeen sop.nro
Toimitusehto EXW
Toimituspäivä
Valuutta EUR
Maksuehto
Viitteemme

Tuoteno.	Kuvaus	Yksikköhinta	Määrä	Yks.	Summa
10378	ECONOWEA 44100MX1.52150	1,60	150	m2	240,00
10384	INJEKTIOVERKKO GREENFLOW 75	1,70	100	m2	170,00
10389	KARHENNUSKANGAS ECONOSTICH	1,85	150	m2	277,50
10416	SÄKITYSK SL200 3.04	1,90	300	m2	570,00
10417	SÄKITYSKA WL5400 PA 0.050	1,00	463,6	m2	463,60
10379	INJEKTIOK WL5400 PA 0.075	1,44	463,6	RULLA	667,58
10375	FLASHTEI DFL180B 50 66	216,39	1	ltk	216,39
10372	EJEKTORI AIRVAC 22	114,76	1	kpl	114,76
10371	ALIPAINESÄKIN PIKALIITIN	28,69	10	kpl	286,90
10370	LIITIN 440 1/4" BSP TYGAVAC	34,00	10	kpl	340,00
10368	ALIP MITT VAC GAUGE30 0.25 NPT	100,00	2	kpl	200,00
10367	ALIPAINELETKU 65R/3M 1/4 BSF	114,76	6	kpl	688,56
10423	TIIVISTENAUHA LTS90B MUS 90C	145,20	1	ltk	145,20

Yhteensä EUR ilman ALV:a 4 380,49
22% ALV 963,71
Yhteensä EUR sis. ALV:n 5 344,20

Kevra Oy
Ylästöntie 121 A
01740 VANTAA
Finland

Puhelin +358 9 6126 820
Fax +358 9 6126 8220
e-mail keвра@keвра.fi
Kotisivu www.keвра.fi

ALV -numero 0220078-6
Rekisterinro 257570
Pankki SAMPO
800014-1745717
IBAN FI7680001401745717
SWIFT DABAFIHH

Tähän toinen pankkitili
Ohjausobjekti1000000
Ohjausobjekti1000000
Ohjausobjekti1000000