

CHARPY-ISKULUJUUSKOELAITTEEN SUUNNITTELU

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU

Tekniikan ala

Muovitekniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Syksy 2009

Petri Jaakkola

Lahden ammattikorkeakoulu
Muovitekniikan koulutusohjelma

JAAKKOLA, PETRI:

Charpy-iskulujuuskoelaitteen suunnittelu

Muovitekniikan opinnäytetyö, 27 sivua, 16 liitesivua

Syksy 2009

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön aiheena ovat iskulujuuskoelaitteet ja iskulujuustestaus sekä Charpy-iskulujuuskoelaitteen suunnittelu. Työ aloitettiin, koska Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa on Izod-iskulujuuslaite, mutta Charpy-iskulujuustestit joudutaan suorittamaan muissa laboratorioissa. Työssä on hyödynnetty Lahden ammattikorkeakoulun muovi- ja konetekniikan laboratorion laitteita sekä Nastolan Nastopolin muovilaboratorion laitteita. Charpy-iskulujuuskoelaitteen suunnittelu on toteutettu SolidWorks 3D-suunnitteluohjelmalla.

Teoriaosa käsittelee iskulujuustestausta, siihen liittyviä standardeja, organisaatiota, joka standardit valmistelee, sekä laitteita, joilla testejä suoritetaan.

Tutkimusosiossa esitellään koemateriaalit, tutustutaan koekappaleisiin, käytettyihin työvälineisiin sekä tehdään koekappaleille Izod- ja Charpy-iskulujuustestejä. Testituloksia verrataan keskenään. Lisäksi verrataan saatuja tuloksia kirjallisuudesta löytyvään tietoon.

Käytännön osuudessa käydään läpi Charpy-iskuvasaran suunnittelua ja mallintamista.

Työssä selviää, etteivät Charpy- ja Izod-iskulujuustestit ole vertailukelpoisia keskenään. Työtä varten tehdyt testit osoittavat, että eri mittausolosuhteet voivat aiheuttaa muutoksia testituloksiin.

Avainsanat: iskulujuustestaus, Charpy-iskulujuuslaite, ISO-standardit

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Technology

JAAKKOLA, PETRI:

Designing of Charpy impact test machine

Bachelor's Thesis in Plastics Technology, 27 pages, 16 appendixes

Autumn 2009

ABSTRACT

The topic of this thesis is impact machines, impact strength testing and the designing of a Charpy impact test machine. The study was commissioned because there is an Izod impact test machine in the plastics engineering laboratory of Lahti University of Applied Sciences, but Charpy impact tests have to be done in other laboratories. The equipment of the mechatronics and plastics engineering laboratories of Lahti University of Applied Sciences and the plastics engineering laboratory of Nastopoli in Nastola were used in the study. The designing of the Charpy impact test machine was carried out with the SolidWorks 3D program.

The theoretical part deals with impact strength testing, standards related to impact strength testing, the organization that sets the standards and the equipment that is used in impact strength testing.

The research part introduces the test materials, the test specimens and the equipment used in the study. The Izod and Charpy tests done to the test specimens are described and the test results are compared. The test results are also compared with the data in literature.

The practical part of the thesis reviews the designing and modeling of the Charpy impact strength machine.

The study indicates that Charpy and Izod impact strength tests are not comparable. Tests performed for the study demonstrate that the measuring conditions cause variation in the test results.

Key words: impact strength testing, Charpy impact test machine, ISO standards

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	ISKULUJUUSTESTAUS	2
2.1	Kansainväliset standardit	2
2.1.1	ISO	2
2.1.2	ISO-standardit	2
2.1.3	Iskulujuustestien standardit	2
2.2	Muovien iskulujuus	3
2.3	Heilahdusiskuvasaralaitteet	3
2.4	Izod-iskulujuustesti	5
2.5	Charpy-iskulujuustesti	8
2.6	Vetoiskulujuustesti	8
3	KÄYTETYT VÄLINEET JA SUORITETUT TESTIT	10
3.1	Koemateriaalit	10
3.1.1	Akryylnitriilibutadieenistyreeni	10
3.1.2	Polypropeeni	10
3.2	Koekappaleet	11
3.3	SolidWorks	14
3.4	Suoritettut testit	15
4	LAITTEEN SUUNNITTELU	18
4.1	Suunnitelma	18
4.2	Mallinnus	18
5	YHTEENVETO	20
	LÄHTEET	22
	LIITTEET	25

1 JOHDANTO

Mekaanisella testaamisella pyritään arvioimaan materiaalien käyttäytymistä ulkoisessa kuormituksessa. Muovien mekaaninen testaus on muiden rakennemateriaalien testausta monimuotoisempaa. Muovimateriaalin iskunkestävyys riippuu perusraaka-aineen lisäksi muovissa olevista lisäaineista. Myös monet ympäristötekijät, esim. lämpötila ja kosteus, vaikuttavat muovien iskunkestävyyteen. Kappaleen suunnittelijalle materiaalien iskulujuuksien huomioonottaminen on erittäin tärkeää, mutta niiden määrittäminen on hyvin vaikeaa. Iskulujuuden määrittäminen antaa tietoa materiaalien turvallisista käyttökohteista sekä auttaa ennustamaan kappaleen käyttöikää. Huomioon otettavaa on se, kuinka suuria iskuenergioita kappaleeseen voi kohdistua sen elinkaaren aikana, sekä se, minkä tyyppinen isku saa aikaan kyseisiä energiamääriä.

Työssäni perehdytään muovien iskulujuustestaukseen sekä erityisesti heilahdusiskuvasarakokeisiin. Tutustun myös kansainvälisiin standardeihin, joiden mukaan iskulujuustestejä suoritetaan. Työssä testataan kahta eri muovilaatua iskukokein. Työni lopullinen tavoite on suunnitella Lahden ammattikorkeakoululle Charpy-iskuvasaralaitte, koska koululla ei ole Charpy-heilahdusiskuvasaralaitetta laboratorioissaan. Suunnittelussa käytän apunani SolidWorks 3D -suunnitteluohjelmaa, jolla mallinnan iskuvasaran osat ja sen kokoonpanon. SolidWorksilla teen myös kappaleista työpiirustukset, joista ilmenee kappaleiden rakenne ja mitat. Esittelen myös mahdollisia valmistusmateriaaleja laitteen osille. Tämä osio työssä ei kuitenkaan ole päällimmäisenä vähäisten materiaalitekniikan opintojen vuoksi. Valmis työni ei välttämättä tule toteutumaan sellaisenaan koululla, joten otan myös huomioon mahdolliset muutokset koneen valmistuksessa sekä osien suunnittelussa.

2 ISKULUJUUSTESTAUS

2.1 Kansainväliset standardit

2.1.1 ISO

ISO (the International Organization for Standardization) on maailmanlaajuinen kansallisten standardisoimisjärjestöjen liitto. ISO on perustettu helmikuussa 1947 ja se tuottaa kansainvälisiä standardeja. ISO ei ole minkään hallituksen alainen, mutta standardiensa välityksellä sillä on merkittävä vaikutusvalta. ISON jäseniä ovat kansalliset standardoimisjärjestöt, yksi kustakin maasta. Suomea edustaa Suomen Standardoimisliitto SFS. (Wikipedia 2009b; ISO 2009.)

2.1.2 ISO-standardit

ISO-standardit valmistellaan tavallisesti ISON teknisissä komiteoissa (TC). Myös kansainväliset ISON kanssa yhteistyössä olevat viranomais- ja muut organisaatiot osallistuvat työhön. ISO työskentelee läheisessä yhteistyössä IEC:n (the International Electrotechnical Commission) kanssa kaikissa sähkötekniiseen standardisointiin liittyvissä asioissa. Kansainväliset standardit laaditaan ISO/IEC:n sääntöjä noudattaen. ISON dokumentteja ei jaeta vapaasti, mutta luonnosdokumentit ovat yleensä vapaasti saatavilla sähköisessä muodossa. (Wikipedia 2009b; ISO 2009.)

2.1.3 Iskulujuustestien standardit

Jotta materiaaleille tehtävien testien tulokset olisivat vertailukelpoisia, on ne standardisoitu. Standardi ISO 179 määrittelee menetelmän muovien Charpy-iskulujuuden määrittämiseen määritellyissä olosuhteissa. Standardi ISO 180 määrittelee muovien Izod-iskulujuuden määrittämiseen tietyissä olosuhteissa. ISO 8256 -standardi määrittelee kaksi tapaa määrittää muovimateriaalin vetoiskulujuus tietyissä olosuhteissa. ISO 13802 -standardi määrittelee edellä mainituissa kolmessa iskukokeessa käytettävät laitteet. Standardeissa määritellään useita erityyppisiä koekappaleita ja testausjärjestelyjä. Standardeissa on määritelty erilaisia tes-

tausparametrejä riippuen materiaalityypistä, koekappaletyypistä ja lovityypistä. Myös testeissä käytettävien kappaleiden lukumäärä määritellään standardeissa. Standardit määrittelevät myös testauksista saatujen tulosten laskumenetelmät.

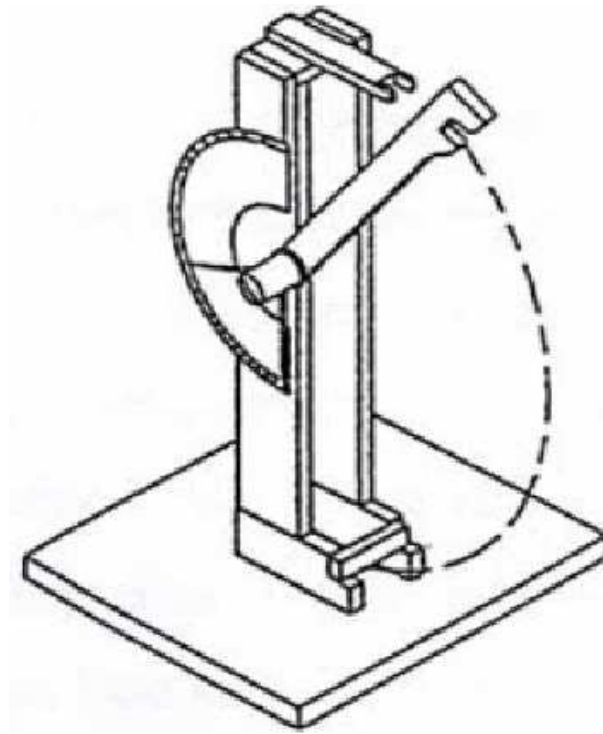
2.2 Muovien iskulujuus

Muovien iskulujuuden määrittämiseen käytetään monia eri menetelmiä, yleisimmin heilahdusiskuvasarakoetta. Iskukokeet ovat suurella nopeudella suoritettavia murtumiskokeita, joilla mitataan kappaleen murtumiseen tarvittavaa energiaa. Heilahdusiskuvasarakokeessa alustalle asetettu testikappale lyödään poikki vapaasti omalla painollaan heilahtavalla iskuvasaralla. Mitä enemmän materiaali pystyy absorboimaan nopeasti energiaa, sitä parempi on sen iskunkestävyys. Koekappaleet ovat joko lovettuja tai loveamattomia. (SFS 2000a; SFS 2000b.)

Koekappaleen murtumahetkellä absorboima iskuenergia koekappaleen alkuperäistä poikkipinta-alaa kohti ilmoitetaan kilojouleina neliometriä kohden (kJ/m^2). Lovetussa koekappaleessa ilmoitetaan iskuenergia loven kohdalla olevaa poikkipinta-alaa kohti (kJ/m^2). (SFS 2000a.)

2.3 Heilahdusiskuvasaralaitteet

Heilahdusiskuvasarakokeessa käytetään heilahdusvasaralaitetta, johon kiinnitetty koekappale isketään kahteen osaan. Kuvio 1 esittää heilahdusiskuvasaralaitetta. Koekappaleen laitteeseenkiinnitystapa riippuu suoritettavasta testistä. Laitteessa voi olla joko mekaaninen viisari ja asteikko tai digitaalinäyttö, joka antaa analysoitavan tuloksen suoritettavasta testistä. Muuten laitteet koostuvat keskenään samankaltaisista osista. Koekappaleita voi olla monia erilaisia. Pääasiassa ne erotetaan lovettuun ja loveamattomaan koekappaleeseen.

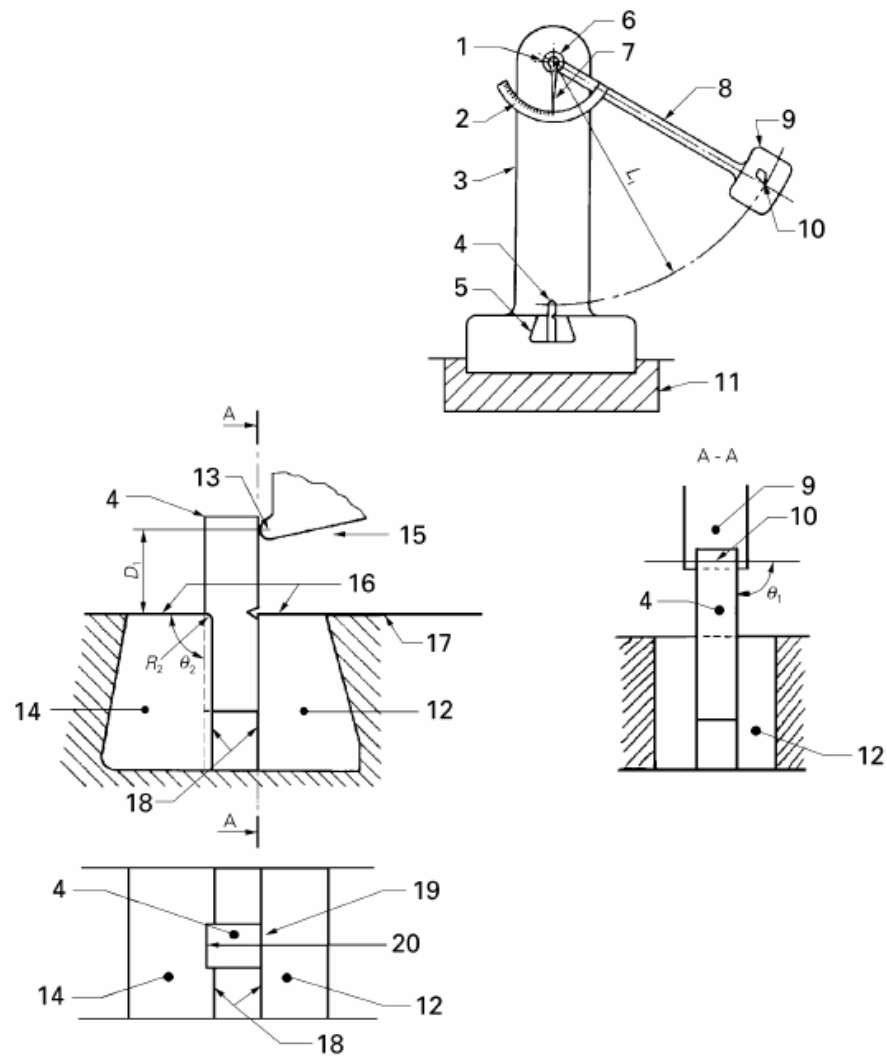


KUVIO 1. Charpy-heilahdusvasaralaite (Peltonen H 2007)

Heilahdusiskuvasaralaitteeseen kuuluu heilurivarsi, jonka päässä on eräänlainen iskuri. Iskulaitteen tulee kyetä suorittamaan testi määritellyllä iskunopeudella ja absorboidun energian asteikon tulee olla 10 - 80 % mittausalueen iskuenergiasta. Jos tämä ei toteudu, on laitteeseen vaihdettavissa joko kevyempi tai raskaampi heiluri. Yleensä valittavina on 0,5 - 50 joulen heilureita. Vaihtoehtoisesti heilurin iskunopeutta ja -energiaa voi säädellä irrotettavilla punnuksilla. Heiluri heilautetaan tutkittavaa kappaletta päin ja materiaaliin absorboitunut energia voidaan päätellä vertaamalla vasaran korkeutta osuman jälkeen sen lähtökorkeuteen. Iskukoelaitteiden rungossa on tätä varten energiamittari, jonka neula pysähtyy ääriasentoon. Tämä absorboitunut energia on suure, jonka avulla voidaan tutkia kappaleen lujuutta. (SFS 2000a; SFS 1999.)

2.4 Izod-iskulujuustesti

Izod-iskulujuustesti on SFS-ISO 180 -standardin mukainen iskulujuustesti. Se sai nimensä englantilaiselta insinööriltä nimeltä Edwin Gilbert Izod (1876 - 1946), joka kuvaili sitä tekstissään Engineering nimisessä julkaisussa vuonna 1903 (Wikipedia 2009). Izod-iskulujuustesti on yleisin käytössä oleva iskuvasara-koemenetelmä Pohjois-Amerikassa. Pohjoisamerikkalainen lovettu testi perustuu ASTM D256 -standardiin, loveamaton ASTM D4812 -standardiin. Izod-iskulujuustesteillä selvitetään usein muovien iskunkestävyyttä kylmissä olosuhteissa. Testejä suoritetaan jopa -40 °C:ssa. Kuten kuvioista 2 ja 3 näkee, Charpy- ja Izod-iskukoelaitteiden pääasiallisena erona on koekappaleen kiinnitysalusta. Izod-menetelmässä koekappale asetetaan aina pystyyn ja isketään lovetulle puolelle, kun taas Charpy-menetelmässä koekappale kiinnitetään vaakasuoraan ja isketään loveamattomalle puolelle. Izod-iskulujuustesti paljastaa sellaiset polymeerimateriaalit, jotka ovat alttiita jännityskeskittymille terävien kulmien lähistöllä. Testiä voidaan myös käyttää loviherkkyyden selvittämiseen. Tietoja voidaan hyödyntää materiaalivalinnoissa eri aloilla. (SFS 2000b; SFS 2000a; MatWeb 2009; Instron 2009.)



1 Heilurin laakerit	8 Heilurin varsi	15 Iskusuunta
2 Asteikko	9 Iskuri	16 Puristimen yläpinta
3 Runko	10 Iskukulma	17 Vaakataso p2
4 Koekappale	11 Jalusta	18 Vertailutaso p3
5 Koekappaleen kannatin	12 Puristinpala	19 Vertailutaso p1
6 Heilurin akseli	13 Iskupinnan kaarevuuskulma	20 Kohdistusura
7 Viisari	14 Tukipala	

KUVIO 2. Izod-iskuvasara (SFS 2000b)

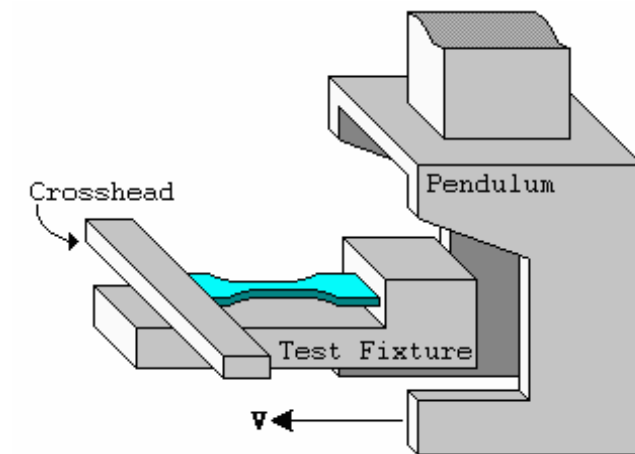
2.5 Charpy-iskulujuustesti

Charpy-iskulujuustestin kehitti Izod-iskulujuustestin pohjalta vuonna 1905 ranskalainen tiedemies nimeltä Georges Charpy. Charpy-iskulujuustesti on SFS-ISO 179 -standardin mukainen iskulujuustesti. Testausmenetelmällä oli keskeinen rooli toisen maailmansodan aikana tutkittaessa laivojen runkojen halkeamisongelmia. Charpy-iskulujuustestillä voidaan mitata koesauvan katkaisemiseen tarvittava iskuenergia. Tämä saadaan mitattua tutkimalla, minkä verran koe-kappale absorboi siihen kohdistunutta iskuenergiaa. (Wikipedia 2009a; Instron 2009.)

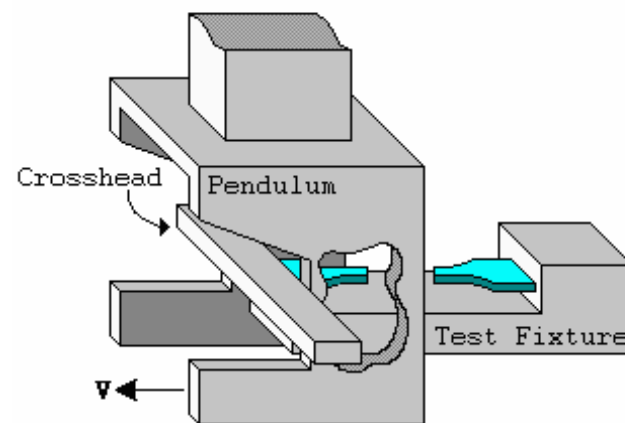
Charpy-iskulujuustestiä käytetään paljon, koska testi on helppo valmistella, viedä läpi ja tulokset saadaan nopeasti ja halvalla. Testin haittapuolena voidaan pitää sitä, että tulokset ovat vain verrannollisia muihin vastaaviin. Charpy-iskulujuustesti voidaan suorittaa myös sekä kohotetussa että alennetussa lämpötilassa. Menetelmä soveltuu Izod-iskulujuustestiä paremmin sellaisten materiaalien testaamiseen, joissa esiintyy kerrostenvälisiä leikkausmurtumia tai ympäristötekijöistä johtuvia pintavaikutuksia. (Wikipedia 2009a; Kurri, Malen, Sandell & Virtanen 2002, 192.)

2.6 Vetoiskulujuustesti

Vetoiskukoetta (SFS-ISO 8256) käytetään pääasiassa sellaisten muovien testaamiseen, jotka ovat liian taipuisia tai liian ohuita testattaviksi Charpy- tai Izod-menetelmillä. Tämä tarkoittaa testikappaleita, joiden paksuus $h \leq 4,0$ mm (Ides 2009b). Vetoiskukokeen suorittamiseen on määritelty kaksi eri tyyppiä, a- ja b-tyyppi. A-tyypissä sauva on kiinnitetty kiinteään alasimeen, josta heiluri vetää sen poikki. Kuviossa 4 crosshead kuvaa irrallista poikkivartta ja pendulum on vetoiskukoelaitteen iskuri. B-tyypissä koesauvan toinen pää kiinnitetään heilurivarren päässä olevaan kiinteään puristimeen. Varren toisessa päässä oleva irrallinen osa jää alasimeen kiinni ja sauva katkeaa. (SFS 2004.)



Koekappale ennen iskua



Koekappale iskun jälkeen

KUVIO 4. Vetoiskukokeen a-tavan kaavakuva (Ides 2009b)

3 KÄYTETYT VÄLINEET JA SUORITETUT TESTIT

3.1 Koemateriaalit

3.1.1 Akryylinitriilibutadieenistyreeni

Akryylinitriilibutadieenistyreeni eli ABS-muovi on yksi eniten käytettyjä teknisiä muoveja erilaisissa käyttöesineissä ja laitteissa. Legopalikat on tehty ABS-muovista, ja jotkut tatuointimusteet sisältävät sitä. Tyypin a ABS-muovilla tarkoitetaan akryylinitriilin, butadieenin ja styreenin kopolymeeriä. Tämä kopolymeeri valmistetaan oksastamalla polybutadieeniin styreeniä ja akryylinitriiliä. Tyyppi b tehdään sekoittamalla yhteen butadieeni-akryylinitriilikumia ja styreeni-akryylinitriilimuovia. ABS-muovia on käytetty lukuisissa muoviseoksissa, joissa on seostamalla parannettu ABS:n käyttöominaisuuksia. ABS:n ominaisuuksia voidaan vaihdella lähtökomponenttien seossuhteiden avulla laajalla alueella. Tyypillinen koostumus ABS-muoville on 20 - 30 % akrylinitriiliä, 20 - 30 % butadieeniä ja 40 - 60 % styreeniä. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 23; Seppälä 1997, 163.)

ABS-muovit ovat sitkeitä, kovia, vahvoja ja säänkestäviä. Ne kestävät hyvin sekä öljyä että kaasumaisia hiilivetyjä, mutta niiden maksimikäyttölämpötila on alhainen, UV-säteilyn kestävyys on vain keskinkertainen, väsymislujuus on heikko ja muovin liuotinten kestävyys huono. Lämmönkesto ABS:llä on polystyreeniä parempi. Pehmenemislämpötila on 100 °C. ABS-muovit ovat helppoja sulatyöstää, jatkojalostaa ja pinnoittaa, koska ABS:n kutistuma on pienehkö ja se on vääntö- ja lemmätön muovi. Muovia käytetään paljon ruiskuvalutuoteissa, vaikka akryylinitriilibutadieenistyreeneit ovat hinnaltaan tavallista polystyreeniä kalliimpia. (Järvelä ym. 2000, 23; Seppälä 1997, 163.)

3.1.2 Polypropeeni

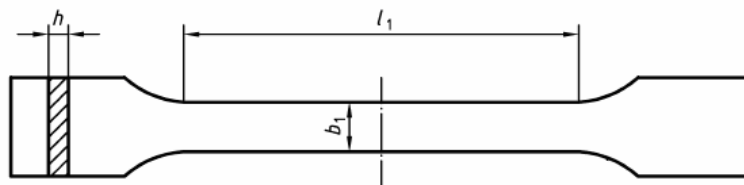
Polypropeeni (PP) on yksi maailman eniten käytetty teknisten polymeerien ryhmä. Polypropeeni kuuluu polyolefiineihin, jotka ovat kestromuoveja ja soveltuvat täten myös uudelleentyöstöön ja kierrätettäväksi. (Erikainen 2008.) Ensimmäisen muo-

viksi soveltuvan polypropeenin valmisti Nobel-palkittu professori Giulio Natta Italiassa vuonna 1957 (The Nobel Foundation 2009). Suomessa muovituotanto käynnistyi vuonna 1921, jolloin valmistettiin nappeja ja solkia maidon kaseiinista. Nesteen muovituotanto alkoi vuonna 1971. Polypropeenin tuotannon Neste Oy aloitti vuonna 1988. Nykyään polymeerien tuotanto on Borealis Polymersin omistuksessa. (Erikainen 2008.)

Polypropeeni on monilta ominaisuuksiltaan hieman maailman käytetyintä muovia, polyeteeniä parempi ja lähes yhtä edullinen osakiteinen muovi, jonka prosessoitavuus on helppoa. Polypropeeni on kevyt muovi. Sen tiheys on alle 1 kg/1 litra. Polypropeenin pehmenemislämpötila-alue on 55 - 68 °C. Polypropeenin kemiallinen kesto on hyvä. Huoneenlämmössä se ei liukene mihinkään liuottimeen. Se on puhtaana täysin myrkytön, sillä on alhainen kitka ja hyvä kulumisenkestävyys. Polypropeenin jännityssäröilyn kestävyys tekee siitä erityisen hyvän kalvosaranamateriaalin. Tuotteita suunniteltaessa on kuitenkin otettava huomioon kohtalaisen suuri kutistuma. (Järvelä ym. 2000, 19; Taideteollinen korkeakoulu 2009.)

3.2 Koekappaleet

Koekappaleiden mitat on määritelty standardissa SFS-EN ISO 3167 niin, että Charpy- ja Izod-iskulujuuskokeissa kappaleen pituus $l = 80 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, leveys $b = 10,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ ja paksuus $h = 4,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$. Kuvio 5 havainnollistaa ISO-standardikoesauvasta leikattavan vetokoesauvan mitat.



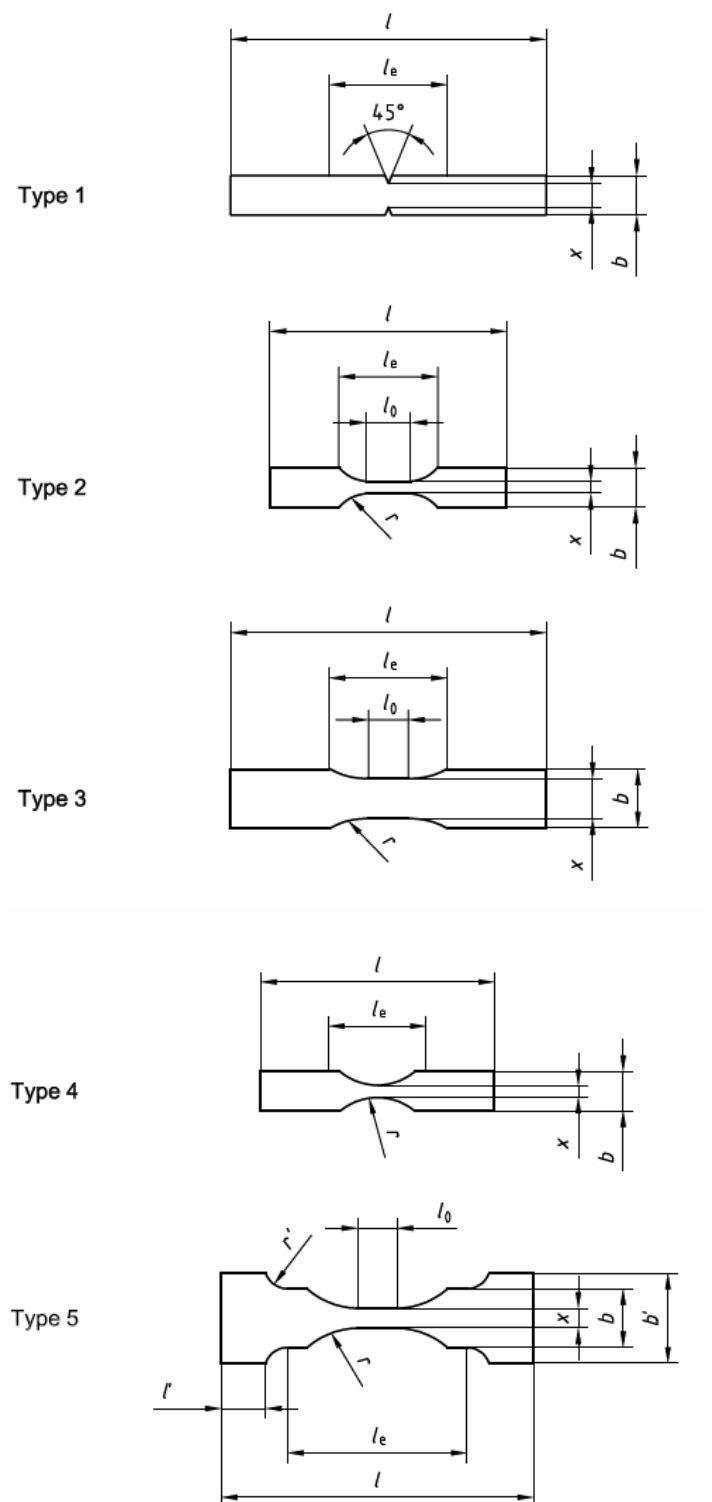
KUVIO 5. ISO-standardikoesauva (SFS 2004)

Näytteen koko vaikuttaa tuloksiin, koska kappaleen mitat vaikuttavat siihen, onko koekappale alustalla jännityksessä. Tästä syystä testeissä suositellaan käytettäväksi ISO 3167:n mukaista ns. yleiskoekappaletta. (SFS 2004; Peltonen H 2007.)

Charpy- ja Izod-menetelmissä voidaan käyttää lovettua tai lovematonta kappaletta. Koekappaleeseen tehty lovi vaikuttaa myös tuloksiin, joten on tärkeää, että lovi on oikeassa kohdassa kappaletta ja oikean muotoinen. Lovi toimii koekappaleessa jännityksen keskittäjänä. Silloin kappaleessa olevien virheiden vaikutus testituloksiin pienenee. Muovien lovi-iskulujuus on huomattavasti pienempi kuin loveamaton iskulujuus. (Peltonen H 2007.)

Charpy-testissä lovi jyrsitään koekappaleeseen iskukohdan vastapuolelle ja v-mallisen loven kulman tulee olla $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$. Pohjasäteeltään lovi voi olla kolmea eri tyyppiä. A-tyyppisen kappaleen pohjasäte on $0,25 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ säteinen, b-tyyppisen kappaleen $1,00 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$, c-tyyppisen kappaleen $0,10 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$. Izod-testissä koekappaleen loveamisessa voidaan käyttää kahta eri tyyppiä. A-tyyppisen kappaleen pohjasäte on $0,25 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ säteinen, b-tyyppisen kappaleen $1,00 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$. V-mallisen loven kulman tulee olla $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$. (SFS 2000a; SFS 2000b.)

Vetoiskukokeessa voidaan käyttää viittä erilaista testisauvaa. Sauvat on kuvattu kuviossa 6. Yksi malleista on kaksipuolisesti lovettu, neljä muuta vaihtoehtoa on loveamattomia. Koesauvan loven tulisi olla kärjestään $1,0 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ säteinen ja $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$:n v-kulman muotoinen. (SFS 2004.)



KUVIO 6. Standardin mukaiset vetoiskukoesauvat (SFS 2004)

3.3 SolidWorks

SolidWorks on 3D -mekaniikkasuunnitteluohjelmisto, joka sisältää tilavuus- ja pintamallinnustyökalut. Ohjelmistoa käytetään hyvin erilaisten koneiden, laitteiden tai jonkin muun yksittäisen kappaleen suunnittelussa. SolidWorks on Windows-pohjainen sovellus. SolidWorksiä valmistaa ranskalainen Dassault Systemes. Ohjelmisto on käytännössä monesti yksittäisen kuluttajan ulottumattomissa korkeahkon hankintahintansa takia, joka on useita tuhansia euroja jo perusversiossa. Laajennettuna SolidWorks maksaa viisinumeroisen summan euroopassa käytettävää valuuttaa. Ohjelmalla voidaan tehdä kolmenlaisia perustiedostoja: osia, kokoonpanoja sekä valmistuspiirroksia. Nämä ovat toisiinsa sidoksissa siten, että muutettaessa osaa kokoonpanossa myös osatiedosto ja sen piirustus muuttuvat, tai päinvastoin. Osien tai kokoonpanojen mittoja voidaan myös linkittää siten, että toista osaa muutettaessa seuraavat muut kappaleet muutetun kappaleen mittoja. Mittoja on myös mahdollista linkittää Excel-taulukkolaskentaohjelmaan. On myös mahdollista tehdä samasta osasta monta eri versiota eli, joilla pyritään helpottamaan suunnittelijan työtä. Voidaan esimerkiksi luoda yksi malli ikkunalasista, johon luodaan useita eri versioita. Tässä tapauksessa erikokoisia ikkunoita, joiden leveys ja korkeusmitat ovat erilaisia. Tämän jälkeen yhtä ikkunamallia voidaan käyttää kokoonpanossa, jossa tarvitaan erikokoisia ikkunoita.

Mallintaminen perustuu piirteisiin. Käyttäjän luoma esine tai kokonaisuus on muokattavissa erittäin vapaasti, ilman että työ olisi aloitettava uudelleen alusta.

Mallinnus aloitetaan yleensä piirtämällä, eli skissaamalla kaksiulotteinen kuvanto kappaleesta X,Y-koordinaatistoon (tai vaihtoehtoisesti XZ/YZ- tai muulle aputasolle), jonka jälkeen hahmotelmasta tehdään pyörähdyskappale tai se pursotetaan kolmanteen suuntaan. On myös mahdollista skissata 3-ulotteinen hahmotelma halutusta kappaleesta, jos tämä vaikuttaa järkevämältä, esimerkiksi jos kyseessä on jokin taivutettu putkirakenne.

Kaksi erilaista kokoonpanojen suunnittelutapaa on kuitenkin selvästi eroteltavissa; ns. bottom-up ja top-down. Nimensä mukaisesti ensimmäisessä valmistetaan ensin laitteen osat ja näistä tehdään isompi kokonaisuus eli kokoonpano. Jälkimmäises-

sä mallinnetaan uusia osia jopa täysin tyhjään kokoonpanoon. Menetelmää voi vaihtaa työn edetessä. (Wikipedia 2009d.)

3.4 Suoritetut testit

Suoritin opinnäytetyötäni varten iskulujuustestejä sekä Charpy-koneella että Izod-laitteella. Näitä testejä varten Reijo Heikkinen valmisti Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa Battenfield BA 200 CD ruiskuvalukoneella iskukoesauvoja. Sauvojen materiaaleina olivat Starexin akryyliniitrili-butadieenistyreeni SD-0160 sekä Borealixsen polypropeeni HD120MO. Taulukossa 1 näkyvät ajoarvot, joilla polypropeenisauvat ajettiin.

TAULUKKO 1. Ruiskuvalukoneen ajoarvot polypropeenin ajossa

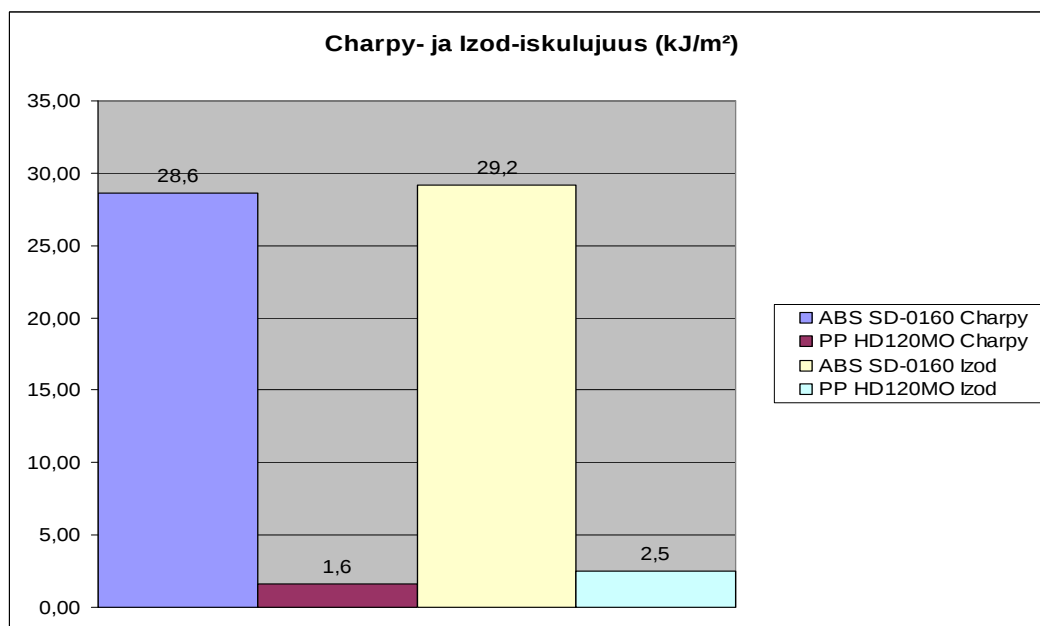
KONEEN AJOARVOT			
LÄMMÖT		Jälkipaine	40 bar
Suutin	230°C	Jälkipaineaika	8 s
Vyöhyke 1	235°C	Jäähdytysaika	15 s
Vyöhyke 2	225°C		
Vyöhyke 3	220°C		

Izod-testit tein Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa teknikkotyönä valmistuneella Izod-iskukoelaitteella. Charpy-testejä varten menin Nastolan Nastopolin muovilaboratorioon. Siellä käytin kuvion 7 mukaista Ceast Resil 5.5 iskulujuuskoelaitetta.



KUVIO 7. Ceast Resil 5.5 iskulujuuskoelaite, jossa Izod-testaukseen tarkoitettu varsi ja puristin (Ceast 2009)

Tein molemmat iskulujuustestit lovetuilla sauvoilla. Sauvat lovettiin Lahden ammattikorkeakoulussa muovitekniikan ja konetekniikan laboratorioiden työkaluilla. Iskukokeissa oli mukana yhdeksän sauvaa kummastakin materiaalista. Valitsin molemmista materiaaleista satunnaisesti viisi iskettyä sauvaa ja laskin tulokset niistä. Kuvio 8 kuvaa Charpy- ja Izod-iskulujuuskokeiden tuloksia.



KUVIO 8. Charpy- ja Izod-iskulujuudet kJ/m^2

Tuloksista näkee, että ABS on selvästi lujempaa kuin polypropeeni. Kuviosta huomaa myös, että lujuusarvot ovat molemmilla koemenetelmillä varsin lähellä toisiaan, mutta Charpy-iskulujuusarvot ovat pienemmät kuin Izod-iskulujuusarvot. Eroavaisuudet eri iskukoemenetelmien tuloksissa eivät ole suuret kummallakaan materiaalilla, mutta tulosten perusteella koemenetelmät eivät ole keskenään vertailukelpoisia eivätkä tulokset eroa Charpy- ja Izod-iskulujuusmenetelmien kesken samassa suhteessa. Minkään löytämäni aineiston perusteella tulokset eivät myöskään ole keskenään vertailukelpoisia.

Verratessani polypropeenin Charpy- ja Izod-iskulujuusarvoja taulukkoarvoihin päädyin siihen lopputulokseen, että materiaaleista ei ole saatavilla kuin lovetun Izod-testin arvoja, tai lovetun Charpy-testin arvoja. Kummastakaan ei löytynyt arvoja loveamattomille sauvoille. Liite 1 esittää polypropeenin lovetun Charpy-iskulujuustestin taulukkoarvon polypropeenille. Polypropeenin lujuus lovetun Charpy-iskulujuustestin perusteella on $4,0 \text{ kJ/m}^2$. Saamani $1,6 \text{ kJ/m}^2$ jää alhaiseksi. Liite 2 esittää lovetun Izod-iskulujuustestin taulukkoarvon akryyliniitrilibutadienistyreeneille. Tulos 314 J/m on mitattu pohjoisamerikkalaisen ASTM-standardin mukaan ja on eri yksikössä kuin saamani tulos. $29,2 \text{ kJ/m}^2$ on kuitenkin samassa suuruusluokassa.

4 LAITTEEN SUUNNITTELU

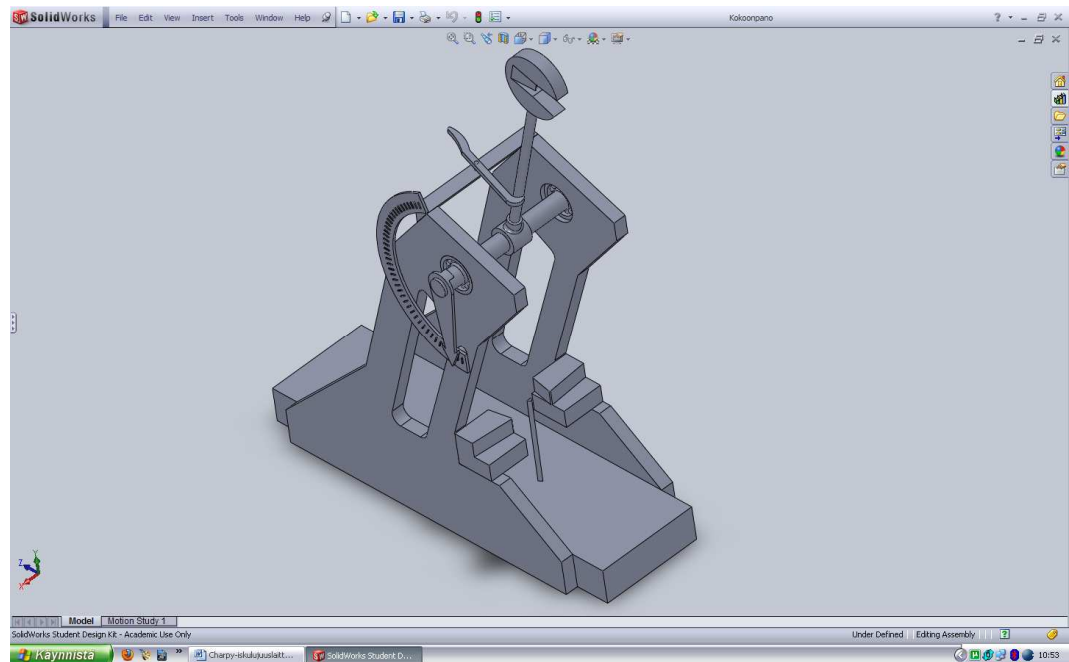
4.1 Suunnitelma

Charpy-iskulujuuskoelaitteen suunnittelu alkoi tutustumisesta standardeihin, jotka käsittelivät Charpy-iskulujuuskoetta sekä Charpy-heilahdusiskuvasaraa. Tutkin myös Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa olevaa Izod-iskulujuuskoelaitetta saadakseni käsityksen mahdollisimman yksinkertaisesta heilahdusiskukoelaitteen rakenteesta. Eri valmistajien iskukoelaitteiden kuviin perehtymällä sain ideoita eri osien toimintaratkaisuksista, mutta tehdasvalmisteisten koelaitteiden vaikeaselkoinen rakenne ei ollut käytännöllinen suunnitelmiini. Standardeista selvitin koelaitteen rakenteessa tärkeät mitat, osien muodot sekä laitteen liikkuvien osien toiminnan kannalta tärkeät suureet. Osien valmistusmateriaalit valitsin Konetekniikan materiaalioppi-kirjan perusteella rungon valmistusmateriaaliksi sopii matalahiilinen rakenneteräs. Kohdistustappi, lukitustappi kiinnikkeineen, viisari, vasaran varsi sekä vasaran akseli voidaan valmistaa hiiletysteräksestä. Iskuvasaran materiaaliksi soveltuu kulutuslevyteräs. Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki M., Tiainen, T., Tiilikka, P., & Tuomikoski, J. 1999, 134, 139, 142.)

4.2 Mallinnus

Muodostettuani näkemyksen koneen koosta ja toiminnan kannalta tärkeimpien osien rakenteesta aloin piirtää Charpy-heilahdusiskuvasaralaitetta SolidWorks 3D -mallinnusohjelmalla. Ensin hahmottelin rungolle muodon, jonka jälkeen mallinsin vasaran varsineen sekä akselin, jonka varassa vasara heiluu. Tämän jälkeen suunnittelin mahdollisimman käytännöllisen iskuenergiamittarin osoittimiseen. Seuraavaksi selvitin Charpy-iskukoelaitteen rakenteen määrittelevästä standardista muodot alustoille, joiden varaan koekappale laitteeseen asetetaan, ja lisäsin iskukoelaitteen jalustaan osan, joka helpottaa koekappaleen kohdistusta alustoilleen. Lopuksi mallinsin vasaran ylimpään asentoon lukitsevan mekanismin. Kun kaikki osat olivat valmiina, viimeistelin laitteen mitoittamalla rakenteen ja toiminnan kannalta tärkeät kulmat ja varmistin

iskuvasaran oikean liikeradan. Tähän antoi mallin SFS-ISO 13802 –standardi,. Kuvio 9 esittää SolidWorks-ohjelmalla mallinnettua Charpy-iskuvasaralaitetta.



KUVIO 9. Charpy-iskuvasaralaite

Kun iskuvasaralaite oli mallinnettu 3D -muodossa, siirsin osat SolidWorks-ohjelman 2D -työpiirroksiin. Liitteet 3/1 - 3/14 ovat työpiirustuksia laitteesta. Niistä näkee osien rakenteiden yksityiskohdat sekä mitat. Viimeinen työpiirustus kuvaa laitteen kokoonpanoa.

5 YHTEENVETO

Syitä sille, miksi saamani tulokset eivät ole taulukkoarvojen kaltaisia, on monia. Testausolosuhteet ovat olleet erilaiset tehdessäni testejä. En selvittänyt laboratoriodien lämpötiloja enkä ilmankosteutta testejä tehdessäni. Tarkistukset eivät olleet tarpeellisia, koska tulosten on tarkoitus olla suuntaa antavia. Standardien mukaiset testit eivät olleet opinnäytetyöni kannalta tarpeellisia. Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratorion Izod-iskulujuuskoelaite ei ole myöskään niin tarkka, että sillä saisi tehtyä standardikelpoisia testejä. Koneessa ei ole tarkkaa mitta-asteikkoa, eikä koekappaleen asettamiskohtaa ole määritetty koneessa tarkasti. Tästä syystä silmämääräisesti kiinnitettyjen kappaleiden kiinnityspisteet todennäköisesti poikkesivat toisistaan, jolloin koekappaleisiin kohdistunut isku aiheutti hieman erilaisia rasituksia kappaleisiin. Koekappaleet eivät olleet standardien mukaan lovettuja. Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa oleva vanha jigi on niin huterä, että kappaleita on mahdotonta loveta tasaisesti. Koska kymmenen jigiin rinnakkain kiinnitetyn yhtäaikaisesti lovetun kappaleen ensimmäinen ja viimeinen kappale on ollut varmasti hieman eri asennossa loveavaan terään nähden, on lovi ollut kaikissa kappaleissa hieman erimuotoinen ja eri kohdassa.

Työn kannalta näillä seikoilla ei ole suurta merkitystä. Sain selvitettyä, että Charpy- ja Izod-iskulujuuskokeet ovat keskenään vertailukelvottomia. Määrittelemättömissä laboratorio-olosuhteissa tehtyjen Izod-testien tulokset ovat keskenään vertailukelpoisia.

Charpy-iskuvasaralaite on kuvattu liitteissä 3/1 - 3/14. Vasara on valmis toteutettavaksi, mutta osien materiaalit ja muotoilu voidaan tehdä tarkemmin vasta toteutuksen yhteydessä. Vasaroita on tarkoitus valmistaa kaksi: raskaampi ja kevyempi. Vasaroiden vaihtaminen tapahtuu varsineen. Painoeron toteutusta en ole työssäni käynyt läpi. Niiden suunnittelu jää myös toteutuksen yhteyteen. Rungon muotoilu on ainoa laitteen toimintaan vaikuttamaton yksityiskohta työssä. Koin liiallisen yksityiskohtiin paneutumisen suunnittelussa turhaksi enkä juuri muotoillut osia enkä tehnyt osiin pyöristyksiä. Näin osat voivat toimia helpommin sellaisenaan

lähtökohtana, tai aihioina, kouluun mahdollisesti joskus valmistuvalle Charpy-iskuvasaralle.

LÄHTEET

Ceast. 2009. Resil Family [viitattu 5.8.2009]. Saatavissa:
http://www.ceast.com/Ceastrel2/pdf/1/Resil_Family-960-06.pdf

Erikainen, J. 2008. Ksyleeniin liukenevien polypropeenin komponenttien määrittäminen gravimetrisesti ja kromatografisesti. Metropolia. Helsinki [viitattu 9.11.2009]. Saatavissa:
https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/1227/Opinnaytetyo_Valmis.pdf?sequence=1

Ides. 2009a. ISO 180 Test Standard Explained [viitattu 2.6.2009]. Saatavissa:
http://www.ides.com/property_descriptions/ISO180.asp

Ides. 2009b. ISO 8256 Test Standard Explained [viitattu 1.6.2009]. Saatavissa:
http://www.ides.com/property_descriptions/ISO8256.asp

Ides. 2009c. Borealis PP HD120MO [viitattu 28.10.2009] Saatavissa:
<http://www.ides.com/grades/ds/E78793.htm>

Ides. 2009d. Starex SD-0160 [viitattu 28.10.2009] Saatavissa:
<http://www.ides.com/grades/ds/E36549.htm>

Instron 2009. Instron Worldwide Headquarters. Charpy and Izod Pendulum Impact Test [viitattu 2.6.2009]. Saatavissa:
http://www.instron.com/wa/products/impact/charpy_izod.aspx

ISO 2009. International Organization for Standardization. How ISO develops standards [viitattu 3.6.2009]. Saatavissa:
http://www.iso.org/iso/about/how_iso_develops_standards.htm

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. 3. painos. Tampere: Plastdata Oy.

- Koivisto, K., Laitinen, E., Niinimäki M., Tiainen, T., Tiilikka, P., & Tuomikoski, J. 1999. Konetekniikan materiaalioppi. 9. painos. Helsinki: Edita Oyj.
- Kurri, V., Malén, T., Sandell, R., & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan perusteet. 3. tarkistettu painos. Helsinki: Hakapaino oy.
- MatWeb 2009. MatWeb Material Property Data. Izod Impact Strength Testing of Plastics [viitattu 1.6.2009]. Saatavissa: <http://www.matweb.com/reference/izod-impact.aspx>
- Peltonen, H. 2007. Polymeerien mekaaninen murtuminen. Tampereen Teknillinen Yliopisto. [viitattu 31.5.2009]. Saatavissa: http://www.tut.fi/plastics/liitteet/MOL6600/MOL6600_luento5.pdf
- Seppälä, J. 1997. Polymeeritekniikan perusteet. Viides muuttumaton painos. Helsinki: Tekijä ja Otatieto Oy 1997.
- SFS. 2000a. Suomen Standardoimisliitto SFS. Muovit. Charpy-iskulujuusominaisuuksien määrittäminen ISO 179-1. Helsinki: SFS-Standardisointi.
- SFS. 2000b. Suomen Standardoimisliitto SFS. Muovit. Izod-iskulujuuden määrittäminen ISO 180. Helsinki: SFS-Standardisointi.
- SFS. 2003. Suomen Standardoimisliitto SFS. Muovit. Yleiskoekappaleet ISO 3167. 2. painos. Helsinki: SFS-Standardisointi.
- SFS. 2004. Suomen Standardoimisliitto SFS. Plastics - Determination of tensile-impact strength ISO 8256. 2. painos. Helsinki: SFS-Standardisointi.

SFS. 1999. Suomen Standardoimisliitto SFS. Plastics - Verification of pendulum impacttesting machines - Charpy, Izod and tensile impact-testing ISO 13802. Helsinki: SFS-Standardisointi.

Taideteollinen korkeakoulu. 2009. Virtuaaliyliopisto [viitattu 9.11.2009]. Saatavissa: http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknoologia/materiaalit/02-10_valtam.html

The Nobel Foundation. 2009. Nobelprize.org. The Nobel Foundation. [viitattu 9.11.2009]. Saatavissa: http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1963/natta-bio.html

Wikipedia. 2009a. Charpy impact test [viitattu 2.6.2009]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Charpy_impact_test

Wikipedia. 2009b. ISO. [verkkojulkaisu]. [viitattu 31.5.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/ISO>

Wikipedia. 2009c. Izod impact strength test. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2.6.2009]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Izod_impact_strength_test

Wikipedia. 2009d. SolidWorks. [verkkojulkaisu]. [viitattu 10.11.2009]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

LIITTEET

LIITE 1 Polypropeenin taulukkoarvot

LIITE 2 Akryylinitriilibutadienistyreenin taulukkoarvot

LIITE 3 Charpy-iskuvasaran työpiirustukset

Borealis PP HD120MO

Polypropylene Homopolymer

Borealis A/S



Prospector

Product Description

HD120MO is a polypropylene homopolymer with a good combination of mechanical properties intended for injection moulding.

General

Material Status	• Commercial: Active	
Availability	• North America	
Features	• Homopolymer	
Uses	• Packaging • Sanitary Products	• Closures • Caps
Forms	• Pellets	
Processing Method	• Injection Molding	

Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Density	0.908	g/cm ³	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (230°C/2.16 kg)	8.0	g/10 min	ISO 1133
Molding Shrinkage	1.0 to 2.0	%	ISO 294-4
Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Modulus	1500	MPa	ISO 527-2/1
Tensile Stress (Yield)	33.5	MPa	ISO 527-2/50
Tensile Strain (Yield)	9.0	%	ISO 527-2/50
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength (23°C)	4.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
Hardness	Nominal Value	Unit	Test Method
Rockwell Hardness (R-Scale)	98		ISO 2039-2
Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature 0.45 MPa, Unannealed	88.0	°C	ISO 75-2/B
Injection	Nominal Value	Unit	
Processing (Melt) Temp	230 to 260	°C	
Mold Temperature	10.0 to 30.0	°C	
Injection Rate	Fast		
Holding Pressure	20.0 to 50.0	MPa	

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

<http://www.ides.com/grades/ds/E78793.htm>

Starex SD-0160**Acrylonitrile Butadiene Styrene****Samsung, a division of Cheil Industries****Prospector**

General			
Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Asia Pacific	• Europe	• North America
RoHS Compliance	• RoHS Compliant		
Forms	• Pellets		

Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Specific Gravity ²	1.04	g/cm ³	ASTM D792
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (200°C/5.0 kg)	1.3	g/10 min	ASTM D1238

Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Strength ³	37.0	MPa	ASTM D638
Flexural Modulus ⁴	1960	MPa	ASTM D790
Flexural Strength ⁴	55.0	MPa	ASTM D790

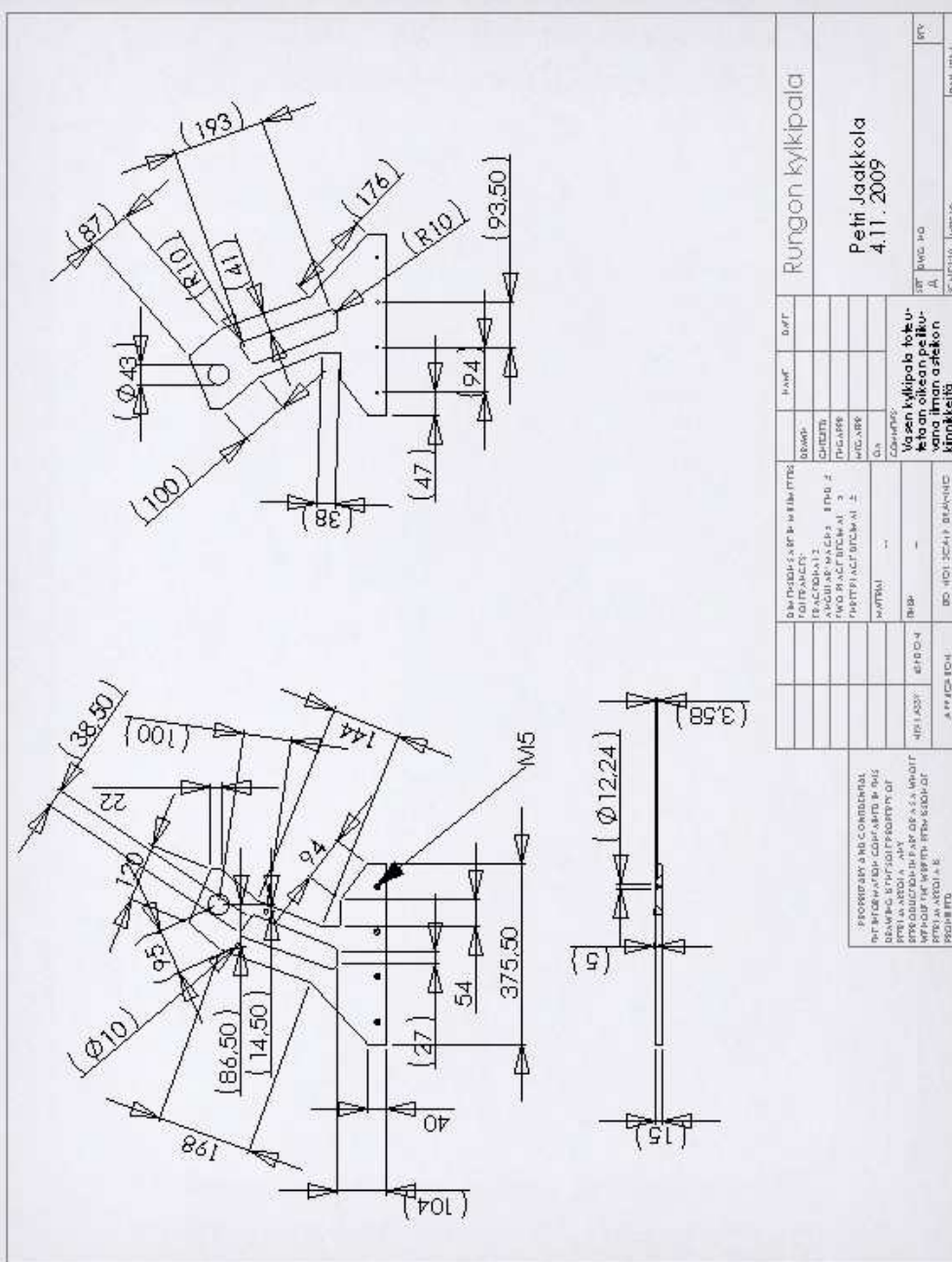
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Notched Izod Impact (6.35 mm)	314	J/m	ASTM D256

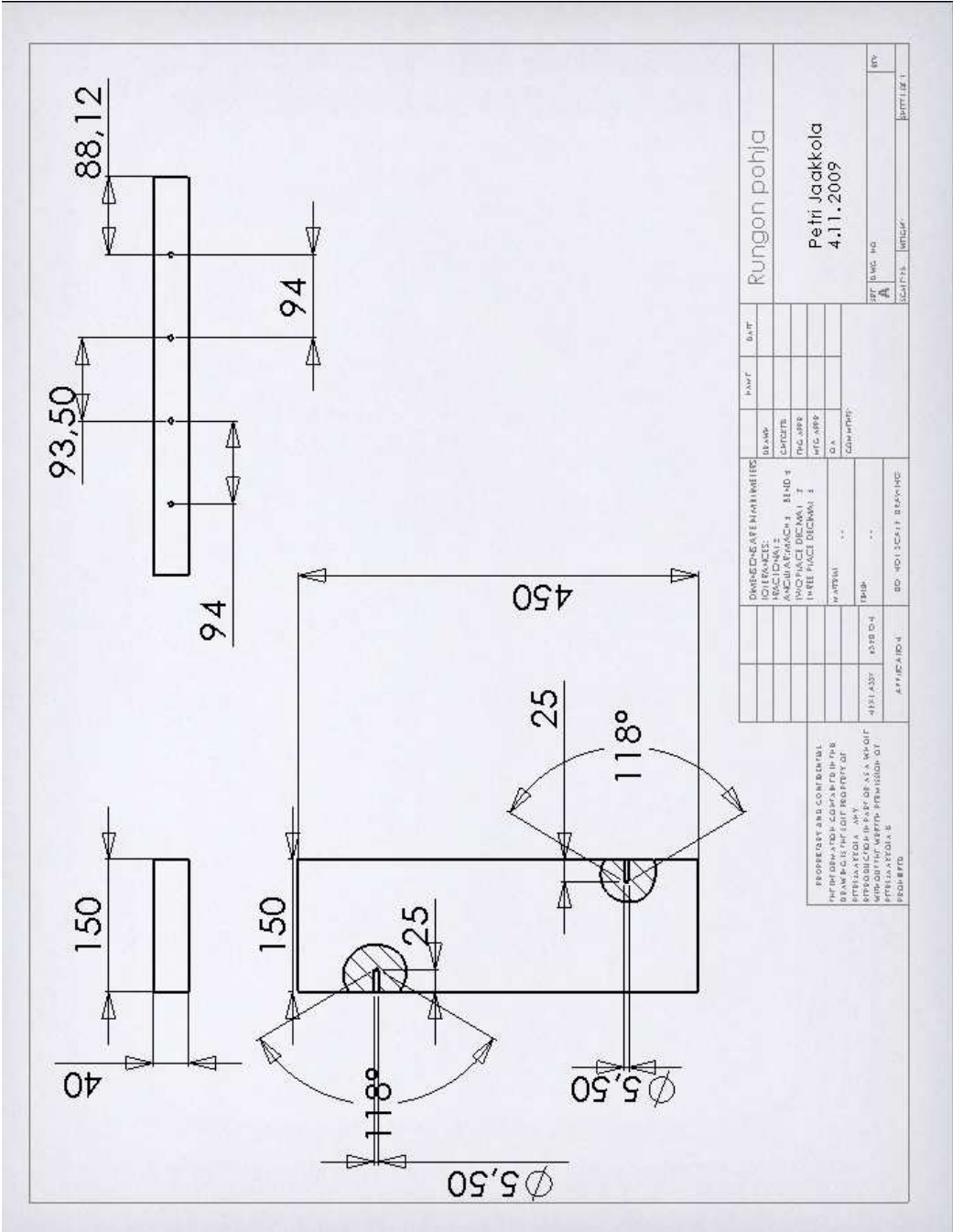
Hardness	Nominal Value	Unit	Test Method
Rockwell Hardness (R-Scale)	99		ASTM D785

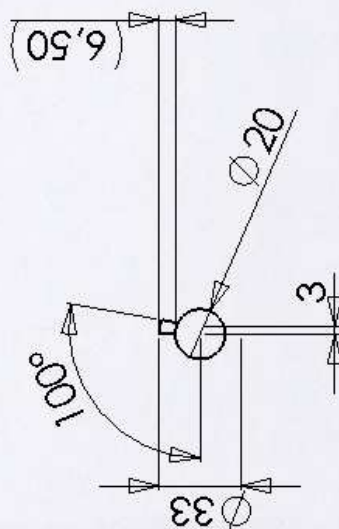
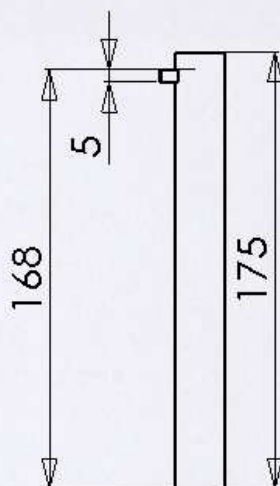
Thermal	Nominal Value	Unit	Test Method
Deflection Temperature Under Load			ASTM D648
1.8 MPa, Unannealed	86.0	°C	
Vicat Softening Temperature	97.0	°C	ISO 306/B50

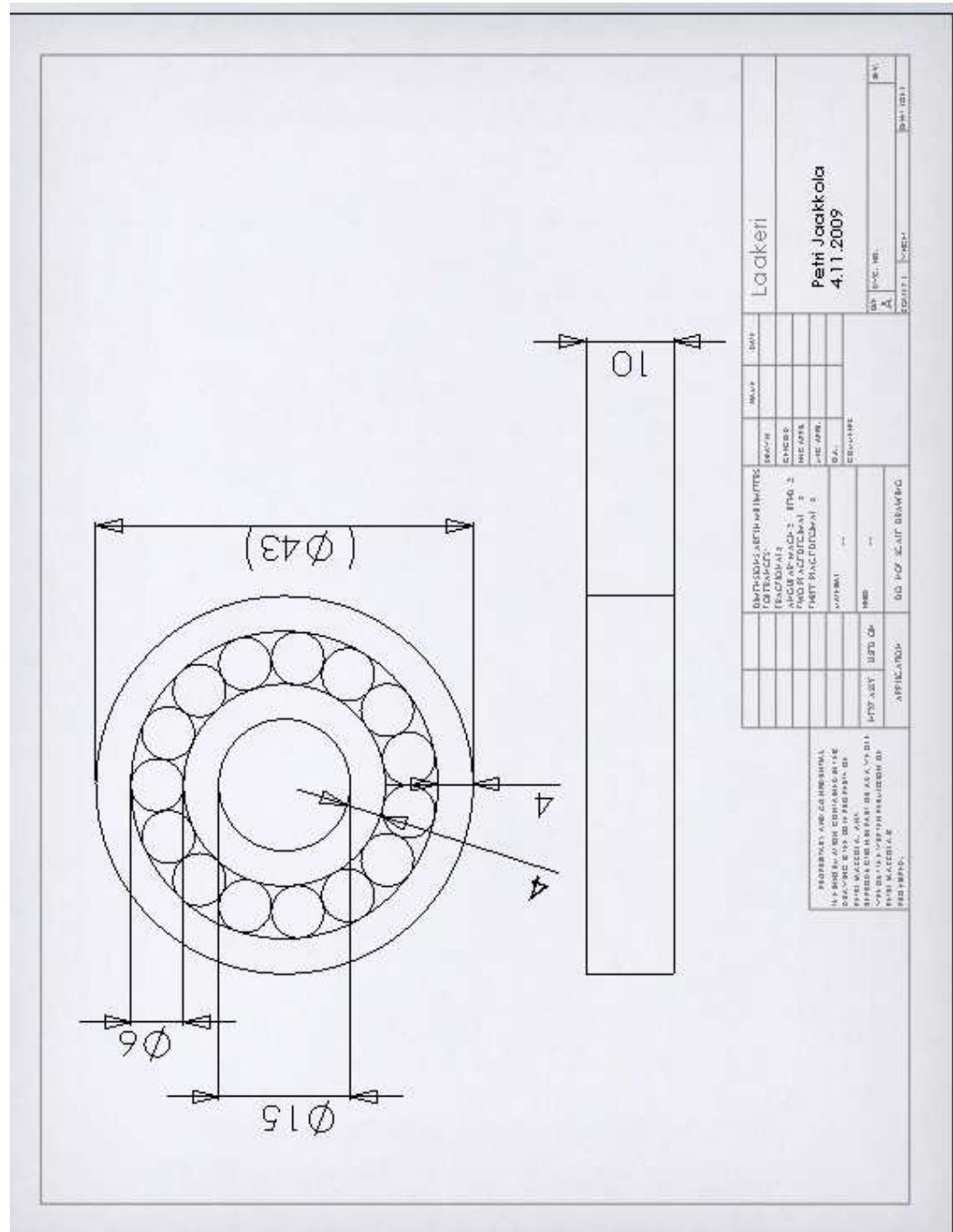
Flammability	Nominal Value	Unit	Test Method
Flame Rating - UL			UL 94
3.00 mm	HB		
1.50 mm	HB		

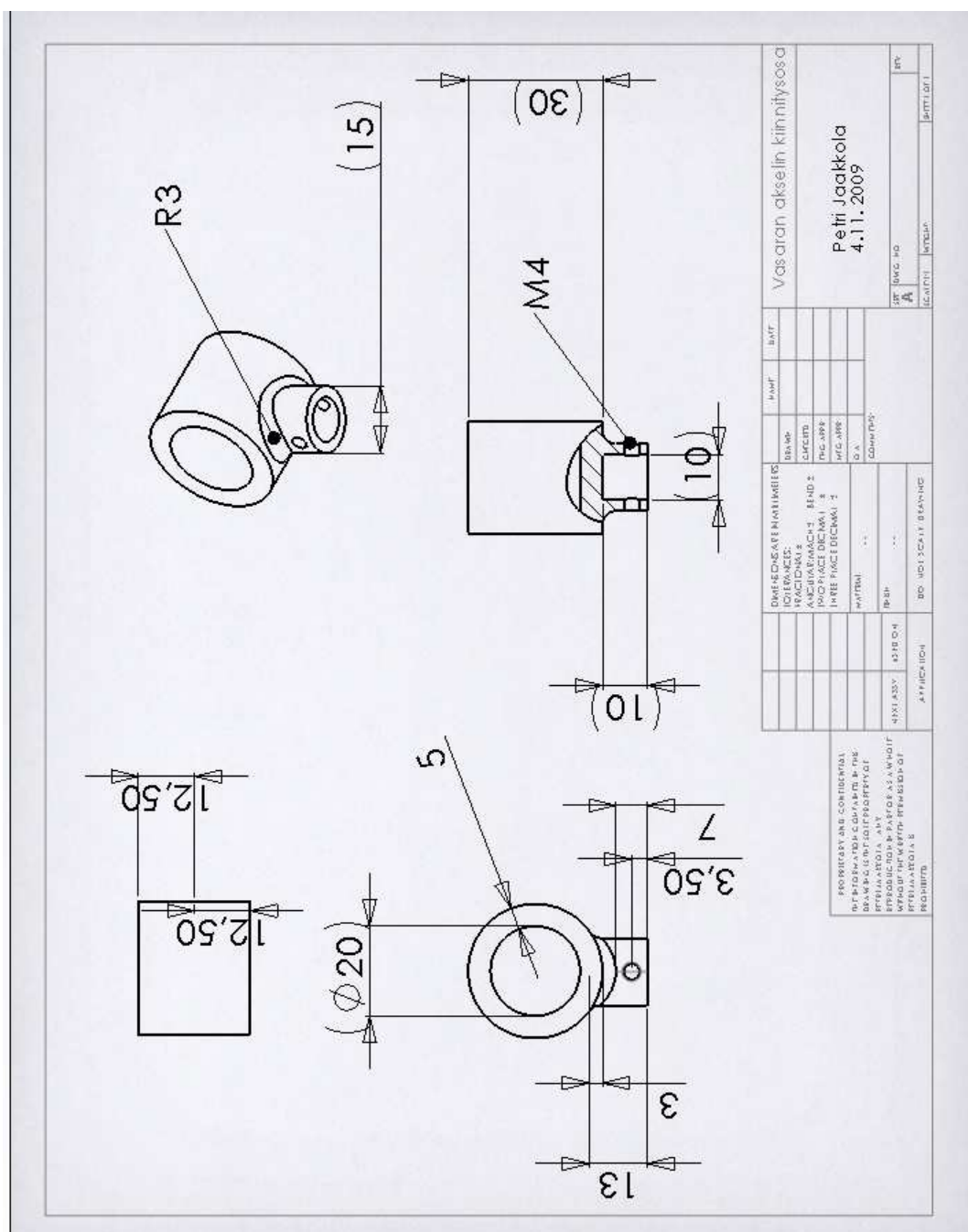
Notes¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.² Natural Color³ 5.0 mm/min⁴ 2.8 mm/min
<http://www.ides.com/grades/ds/E36549.htm>

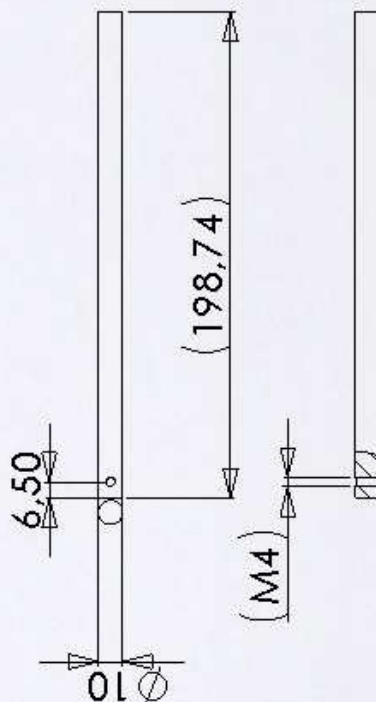


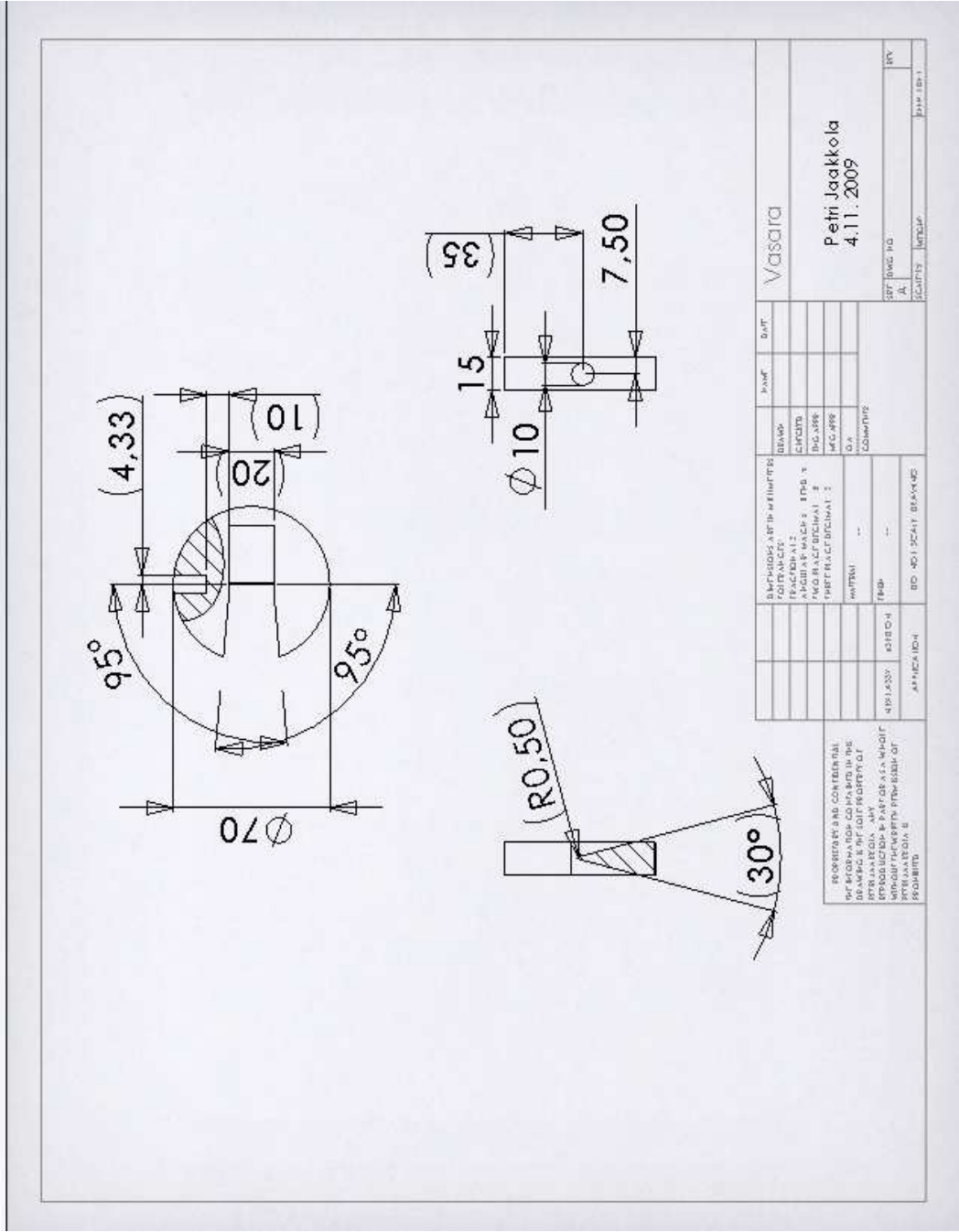


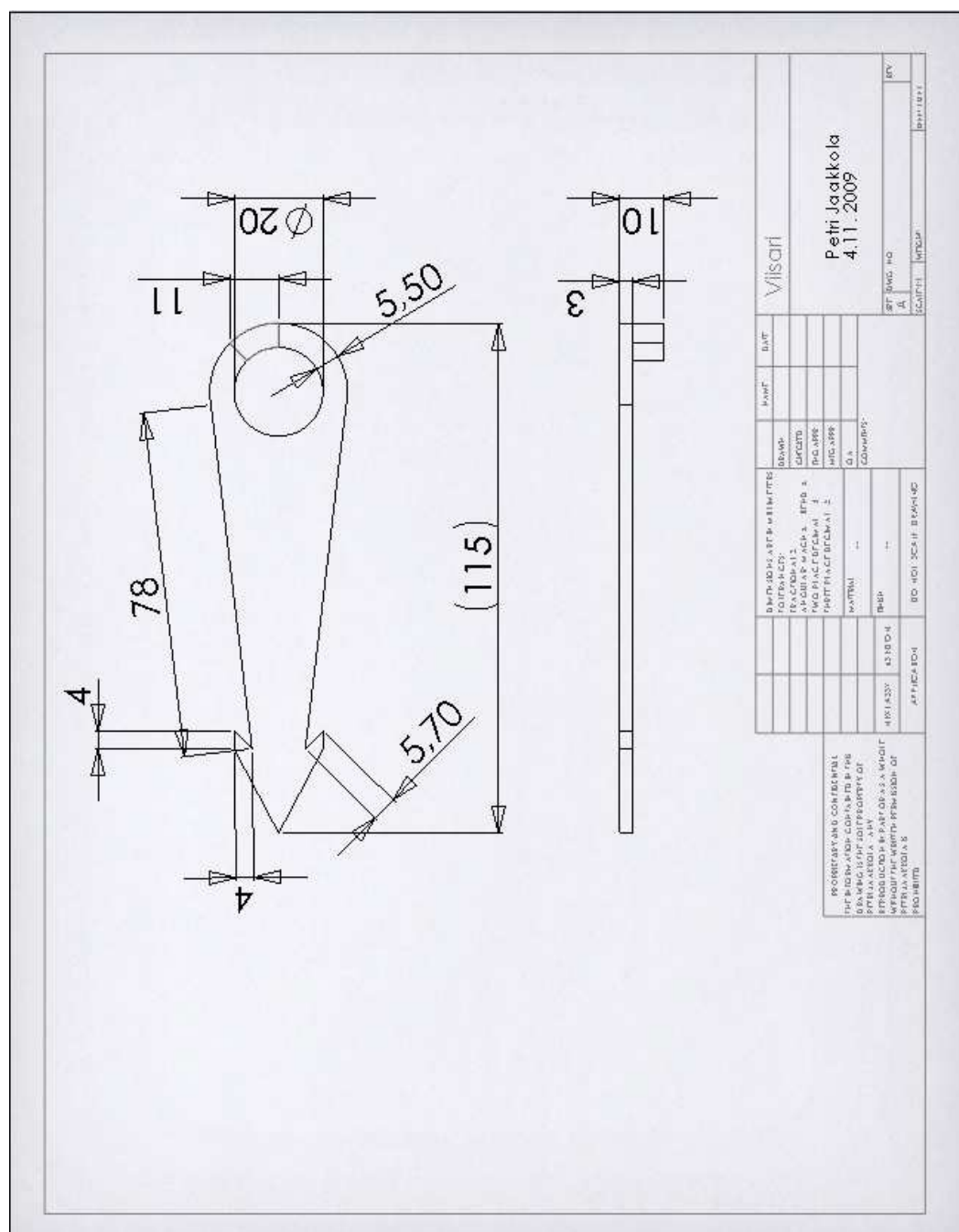
[illegible]

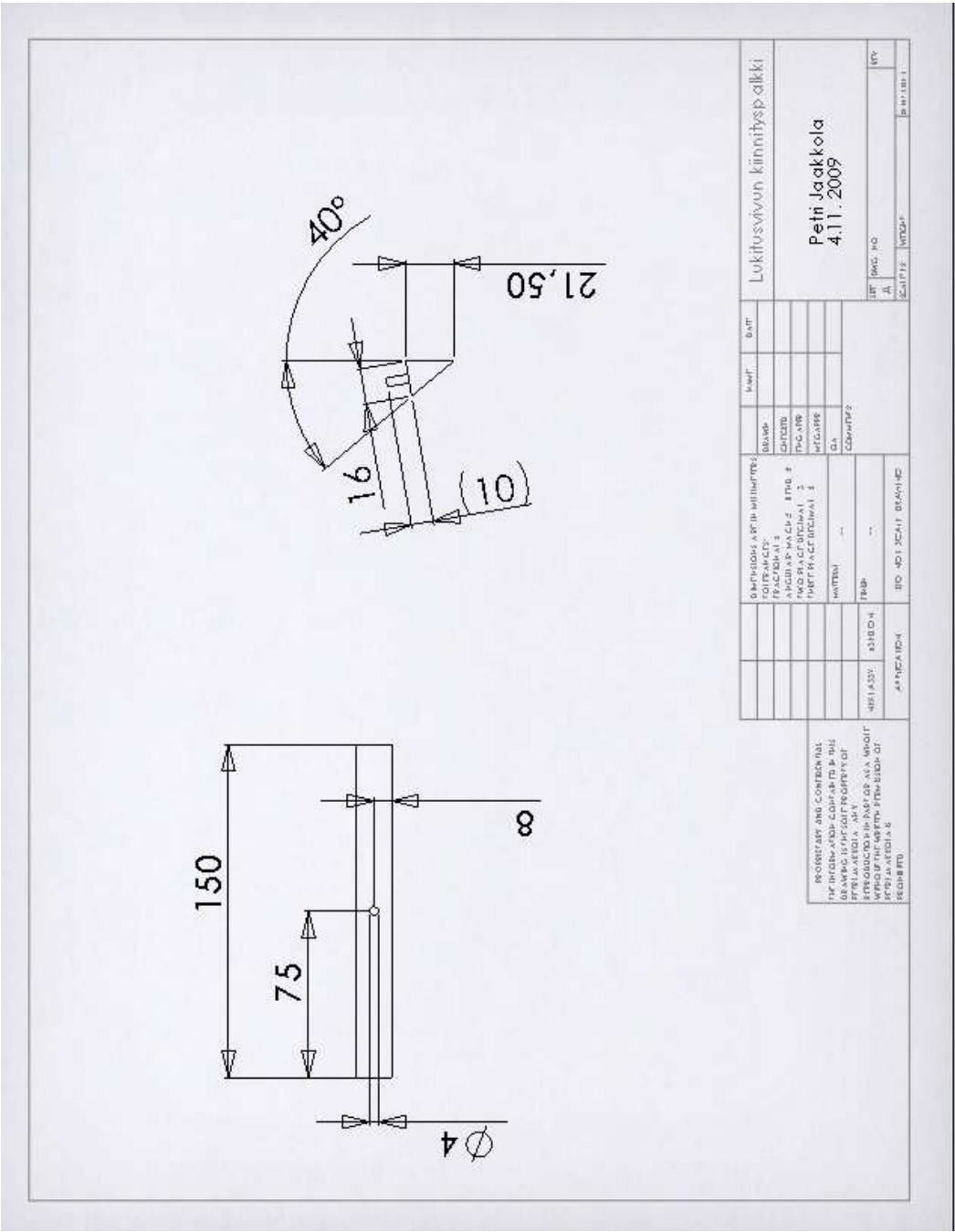


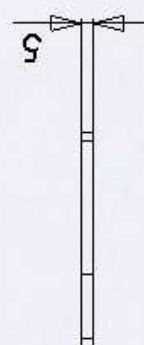
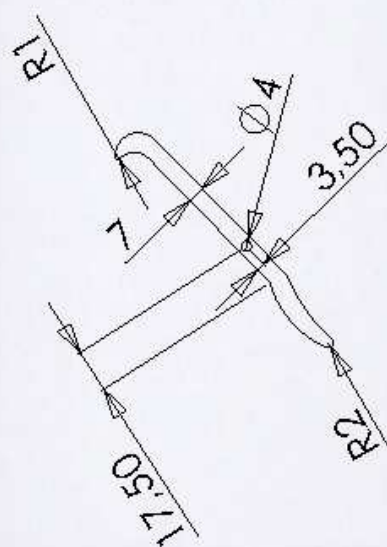
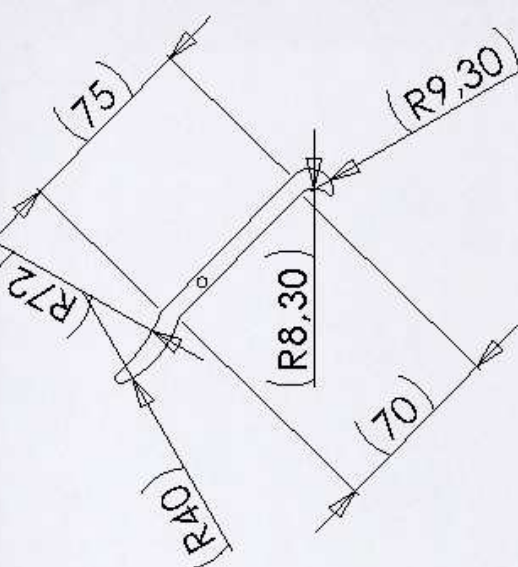


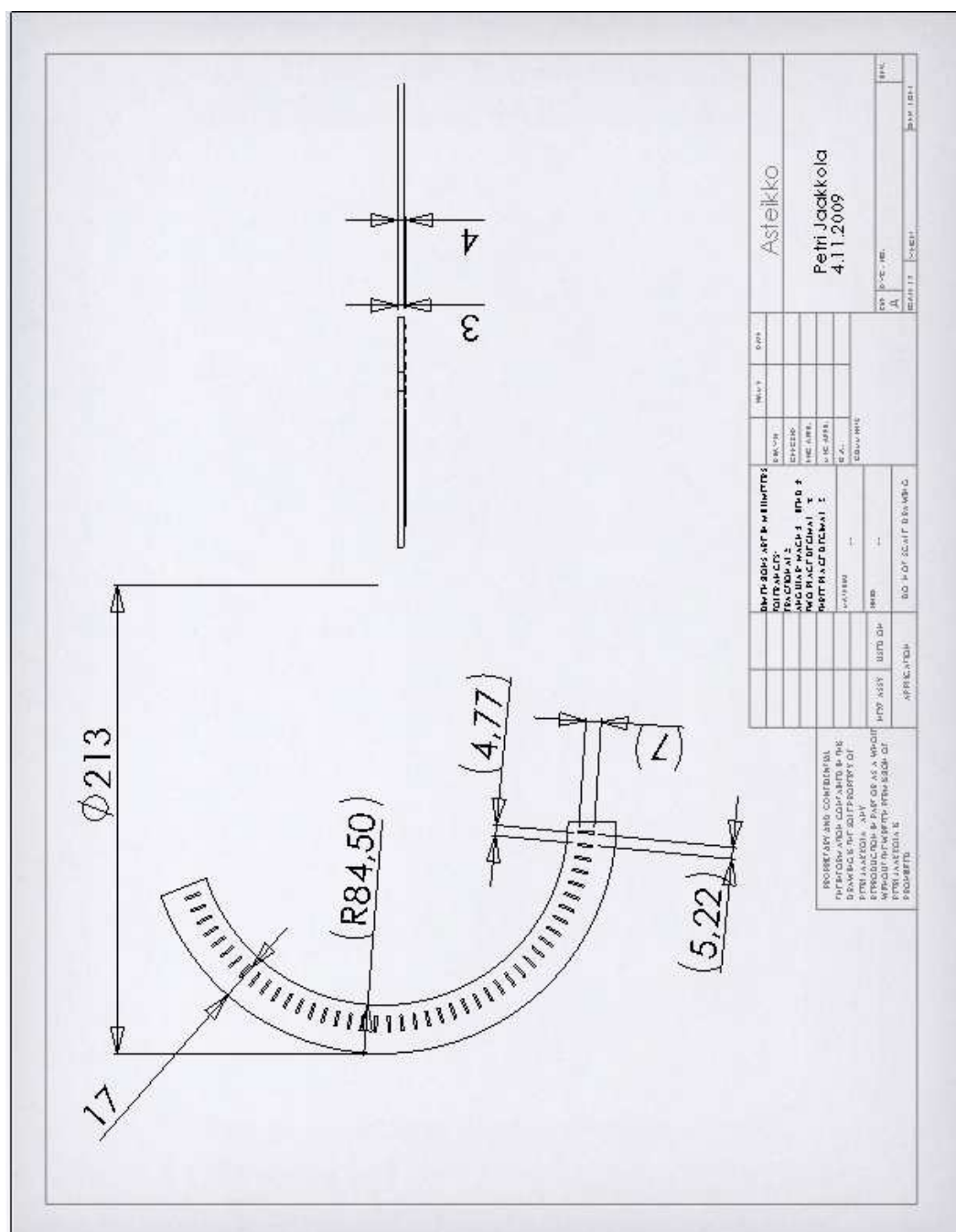
[illegible]







[illegible]



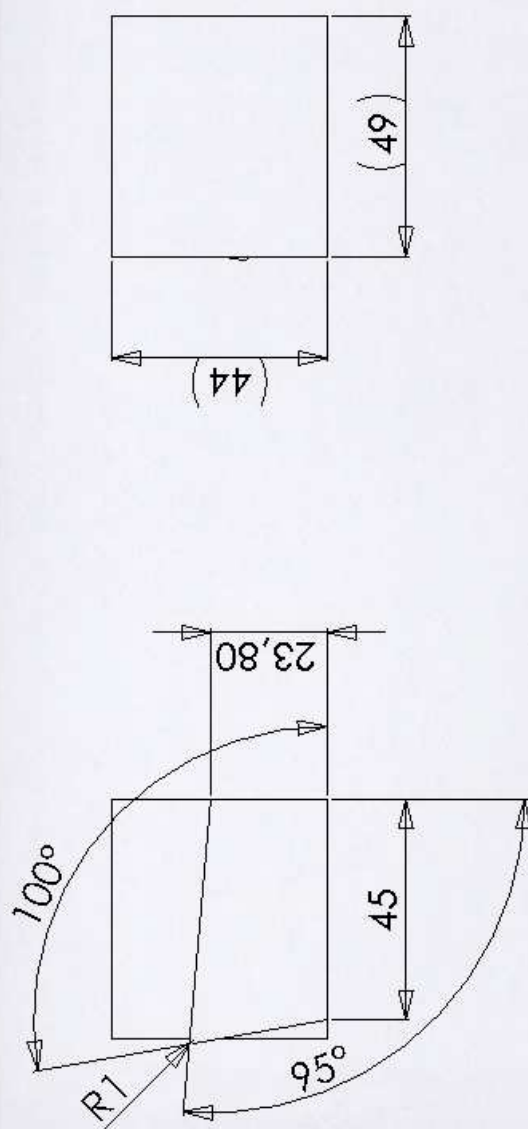


Diagram of a two-story building with a central vertical axis. The left side is labeled '17' and the right side is labeled '20'. Arrows indicate wind direction from the left.

[illegible]

PROPERTIES AND COMPONENTS
WE FORMATION COMPACTS IN THE
WATER OF THE PROPERTY OF
THE ARIZONA APT
PRODUCTION PARTS AND A WHOLE
PRODUCTION OF THE PRODUCTION OF
THE ARIZONA APT
PRODUCTION

Kappaleen tukipala (oikea)

Petri Jaakkola
4.11.2009

Varsen tukipala
to teutetan
oikean peilikuva

QWC 100	100
---------	-----

1401000	US
---------	----

