

Käsikosteusmittareiden vertailu ja luotettavuus

Tutkija Holger Forsénin pitämä esitelmä Otawood-kuivausseminaarissa 12.11.1997

Yleistä

Puun kosteuden mittaaminen sähköisellä menetelmällä on hyvin tavallista sen nopeudesta, helppokäyttöisyydestä ja halpuudesta johtuen ja koska mittaus voidaan tehdä kappaletta rikkomatta. Periaatteessa on kaksi laitetyyppiä. Toinen mittaa puun sähköistä vastusta ja toinen mittaa kapasiteettia.

Puun vastusmittari

Alle puun kyllästämispisteen puun sähköinen vastus vaihtelee merkittävästi kosteuden muutoksesta. Puun vastus kasvaa logaritmisesti puun kosteuden laskiessa. Tämä antaa mahdollisuuden määrittää puun kosteus sähköisellä vastuskosteusmittarilla. Puun sähkövastus ei riipu pelkästään kosteudesta; myös puulajit ja sahatavaran lämpötila on otettava huomioon. Puun vastus kasvaa kun puun lämpötila laskee. Sen lisäksi on otettava huomioon eri puulajien eroavaisuuksia. Kosteusalueella 8 - 25 % ja lämpötilan ollessa 20 °C:en paikkeilla tulee hyvien kosteusmittareiden pystyä osoittamaan todellista kosteutta likimain 1 %:n tarkkuudella, niin että mittaus on tarkempi pienillä arvoilla ja vähemmän tarkkaa alueen märkeissä.

Kapasiteettimittari

Puun kapasiteetti vaihtelee suoraan kosteuden mukaan koko alueella tuoreesta kuivaan tilaan. Sen takia voidaan puun kosteus määrittää mittaamalla kapasiteettia. Puun lämpötilan vaikutus on pieni. Normaalityapauksessa voidaan lämpötilaa jättää huomioonottamatta. Kapasiteettimenetelmä on periaatteessa hyvä tapa määrittää vesimäärä puussa. Ei ole kuitenkaan mahdollista muuttaa tätä vesimäärää kosteusluvuksi (prosentiksi) tietämättä puun ominaispainoa. Yleensä käytetään puun keskimääräistä ominaispainoa määritettäessä puun kosteutta kapasiteettimenetelmällä eikä puun yksittäistä ominaisarvoa. Jokaisessa mittauksessa saadaan kalibroidulle kapasiteettimittarille tietty virhe, joka on verrannollinen todelliseen virheeseen oletetusta puun ominaispainosta.

Tutkimuksessa määritetään eri puulajien vastuskäyrät maakohtaisesti. Sen lisäksi tarkistetaan ja verrataan markkinoilla olevien käsikosteusmittarien luotettavuutta ja tarkkuutta puun eri kosteustasoilla. Mittarit testataan eri olosuhteissa sekä laboratoriossa että kentällä. Kosteusmittarien kehittämisessä ollaan yhteistyössä laitevalmistajien kanssa.

Mittaukset

Testauksessa olivat mukana yleisimmät markkinoilla olevat käsikosteusmittarit. Mittareita oli sekä sähköisiä vastuskosteusmittareita että kapasiteettimittareita. Käytetyt mittarit olivat merkittävästi seuraavat:

A. Vastusmittarit

KPM Aqua Boy HM1
BES Bollmann Combo 200
CSA electronic DELTA-8N
Delmhorst RDM-2S
FMD-Plus moisture meter
FME moisture meter
Gann Hydromette RTU600
Gann Hydromette 2050
Protimeter Timbermaster S
Protimeter Timberlogger
Timber Test FM510
WALTTERI Piikkimittari
VIVA 12
WSAB Lignomat Mini X
WSAB Lignomat Pocket1
WSAB Lignomat Tester1

B. Kapasitiivinen mittari

CSA electronic Delta2000H
CSA electronic Delta 2000S
FMW moisture detector
Merlin HM8 - WS13
Timber Test FM600
Wagner L612

Kaikista vastuskosteusmittareista määritettiin mittarin oma vastuskäyrä eri puulajiasetuksille (vastusten ja mittareiden lämpötila 20 °C). Vastuskosteusmittareiden kuntoa tarkastettiin vakiovastusten avulla ja kapasitiivisten mittareiden kalibrointia mittarin omaa kalibrointilevyä vastaan tehtiin säännöllisesti noin 2 kuukauden välein.

Laboratoriossa määritettiin eri puulajien sähköistä vastusta. Koemateriaali oli koottu ympäri Eurooppaa. Myös maan alueellisia kasvunpaikkoja otettiin huomioon määritettäessä eri puulajien vastuskäyrää. Puulajit olivat mänty, kuusi, koivu, lehtikuusi, tammi, pyökki ja leppä. Yhteensä oli noin 2 700 koekappaletta, jotka jaettiin 3 ryhmään ja tasaannutettiin 3 eri kosteustasolle (8 - 10 %, 12 - 14 % ja 16 - 18 %). Puun vastukset mitattiin HP-megaohm-mittarilla. Käytetty jännite-elektrodien väli oli 10 V. Puun vastus mitattiin n. 5 sekunnin jälkeen, kun puun vastusarvo oli tasaantunut. Puun vastus kasvaa koko mittauksen aikana sähköisen polarisoinnin ilmiön takia. Mittaukset suoritettiin 20 °C.

Laboratorio-olosuhteessa testattiin kaikkien mittareiden tarkkuutta ja luotettavuutta tasaannetuille puille, missä kosteusgradientti oli hyvin olematon. Sähköisillä vastuskosteusmittareilla mitattiin 20 kpl jokaisessa ryhmässä eli puulajikohtaisesti, maakohtaisesti ja 3 eri kosteustasoilla. Kapasitiivisilla mittareilla mitattiin kaikkien koekappaleiden kosteus nopeiden mittareiden ansiosta.

Kaikki mittarit testattiin myös kenttäolosuhteissa sahoilla. Koemateriaalina oli erilaisia mänty- ja kuusisahatavaraeriä, joiden paksuus oli 22 - 75 mm, leveys 100 - 250 mm ja loppukosteus 8 - 22 %. Tutkimukseen otettiin mukaan sekä kanava- että kamarikuivaamoissa kuivattua tavaraa. Yhteensä käytiin läpi 10 sahatavarapakettia.

Kaikissa mittauksissa määritettiin puun keskikosteus ja kosteusgradientti punnitus- ja kuivausmenetelmällä. Sen lisäksi mitattiin puun tilavuuspaino, joka muunnettiin 12 %:n kosteutta vastaavaksi (kosteusmittarien laitevalmistajien käyttämä arvo).

Tulokset

Kosteusmittareiden vastuskäyrä

Sähköisten vastuskosteusmittareiden omat vastuskäyrät määritettiin eri kokoisten sähkövastuksien avulla. Eri mittarien kesken vastuskäyrät poikkeavat enemmän tai vähemmän toisistaan. Poikkeamat ovat sen verran suuria, että eri mittareilla voidaan saada eri mittaustuloksia, vaikka mittaus suoritetaan samasta kohdasta. Ero voi olla jopa yli 2 %-yksikköä. Tämä ero on systemaattinen. Mittarien omat vastuskäyrät perustuvat usein laitevalmistajien omiin kokemuksiin. Monet laitevalmistajat käyttävät mittareissaan TRÄTEKIn tutkimuksiin perustuvia vastuskäyriä männylle ja kuuselle.

Säännöllisin väliajoin tarkastettiin sekä vastus- että kapasiteettimittarien kuntoa, ettei ole tapahtunut mitään kalibrointisiirtoja.

Puun vastuskäyrät

Eri puulajien vastuskäyrät määritettiin kolmella eri kosteustasolla. Jotta saataisiin yhtälö, joka kuvaa suhdetta puun kosteuden (u) ja puun sähköisen vastuksen (R) välillä, tehtiin regressioanalyysi. Valittu yhtälö, jota myös TRÄTEK on käyttänyt tutkimuksiinsa, on seuraava:

$$\log(\log R + 1) = A * u + B$$

tai uudelleen kirjoitettu

$$R = 10^{(10^{(A \times u + B)} - 1)}$$

missä R on puun vastus (Mohm) ja u on puun kosteus. Regressioanalyysin avulla on laskettu vakiot A ja B eri puulajille maakohtaisesti. Tulokset käyvät ilmi taulukosta 1. Jotta voitaisiin paremmin verrata eri vastuskäyriä keskenään on taulukkoon 1 laskettu puun kosteus muutamien vastusarvojen (10 Mohm, 1000 MoOhm ja 10000 Mohm) funktiona.

Taulukko 1. Puun vastuskäyrä maankohtaisesti ja numeerisesti laskettu puun kosteus vastuksen ollessa 10 MΩ, 1000 MΩ ja 10000 MΩ

Puulaji	Maa	lkm	Regressiokäyrä			Vastus		
			a	b	r ²	10 MΩ	1000 MΩ	10000 MΩ
Mänty	Suomi	240	-0.038	1.052	0.958	19.8	11.8	9.3
	Ruotsi	240	-0.039	1.062	0.981	19.5	11.8	9.3
	Norja	116	-0.040	1.079	0.964	19.4	11.9	9.5
	Saksa	270	-0.036	1.015	0.951	19.8	11.5	8.8
	Ranska*	90	-0.045	1.147	0.973	18.8	12.1	10.0
	Trätek**		-0.040	1.055		18.8	11.3	8.9
	Pohjoismaat	956	-0.039	1.061	0.967	19.5	11.8	9.3
Kuusi	Suomi	309	-0.038	1.080	0.980	20.5	12.6	10.0
	Ruotsi	240	-0.037	1.047	0.985	20.2	12.0	9.4
	Norja	90	-0.038	1.072	0.987	20.3	12.4	9.8
	Tanska	123	-0.035	1.004	0.891	20.1	11.5	8.7
	Saksa	90	-0.036	1.043	0.974	20.6	12.2	9.6
	Itävalta	66	-0.039	1.100	0.977	20.5	12.8	10.3
	Trätek**		-0.039	1.063		19.5	11.8	9.3
	Pohjoismaat	639	-0.038	1.067	0.981	20.2	12.2	9.7
Koivu	Suomi	176	-0.039	1.035	0.961	18.8	11.1	8.6
	Ruotsi	120	-0.038	1.029	0.976	19.2	11.2	8.7
	Pohjoismaat	296	-0.039	1.032	0.968	18.7	11.0	8.5
Tammi	Tanska	60	-0.048	1.085	0.975	16.3	10.1	8.0
	Saksa	150	-0.047	1.081	0.978	16.6	10.2	8.1
	Ranska	90	-0.046	1.069	0.979	16.7	10.2	8.0
	Keskieuropa	300	-0.047	1.079	0.975	16.6	10.1	8.1
Pyökki	Tanska	60	-0.045	1.116	0.963	18.1	11.4	9.3
	Saksa	57	-0.047	1.123	0.965	17.5	11.1	9.0
	Keskieuropa	117	-0.046	1.119	0.962	17.8	11.2	9.1
Leppä	Ruotsi	120	-0.044	1.131	0.971	18.9	12.0	9.8
Lehtikuusi	Tanska	63	-0.042	1.112	0.976	19.3	12.1	9.8

*Ranskan mänty on *maritime pine*

**Vastuskäyrä perustuu TRÄTEKin tutkimuksiin

Taulukosta nähdään, että puun vastuskäyrät maakohtaisesti eivät merkittävästi poikkea keskenään. Ranskan mänty *maritime pine* on ainoa puu, joka eroaa suuresti muiden mäntyjen vastuskäyrästä sen kemiallisen koostumuksen (suuren hartsipitoisuuden) takia. Taulukossa on eritelty pohjoismaiden (Suomi, Ruotsi ja Norja) ja Keski-Euroopan (Tanska, Saksa, Ranska ja Itävalta) puiden vastuskäyrä. Verrattaessa tässä VTT:n tutkimuksessa laskettua Pohjoismaiden puiden vastuskäyrää TRÄTEKIn laskemaan vastuskäyrään, voidaan todeta että VTT:n käyrä antaa noin 0,5 % korkeamman kosteusarvon kuin TRÄTEKIn käyrä sekä männylle että kuuselle. Kokeet ja analysoinnit ovat vielä kesken. VTT tekee vielä lisäkokeita ja analysoi tulokset tilastollisesti. VTT:n ja TRÄTEKIn eroavaisuudet ovat kuitenkin mittausvirheen sisällä. Luotettavimmat tulokset saadaan, jos VTT:n ja TRÄTEKIn mittaustulokset yhdistetään.

Muiden puulajien vastuskäyrät on laskettu. Puusepänteollisuudessa, missä käytetään erilaisia puulajeja, on tärkeää, että saadaan luotettavia vastuskäyriä. Kaikista mitatuista vastuskäyrästä tullaan vielä keskustelemaan kosteusmittarien laitevalmistajien kanssa. Tavoite on, että saadaan hyvä, tarkka ja luotettava kosteusmittari.

Verrattaessa mittarin omia vastuskäyriä VTT:n tutkimuksiin perustuviin vastuskäyriin voidaan todeta suuria poikkeamia. Ero voi esim. 10 Mohmin kohdalla, joka vastaa noin 18 - 20 %:n kosteutta riippuen puulajista, olla yli 2 %-yksikköä.

Kosteusmittareiden tarkkuus

Kosteusmittareiden tarkkuutta mitattiin laboratoriossa käyttäen yli vuoden tasaantunutta puuta, missä kosteusgradientit olivat sangen pienet. Kaikkien vastuskosteusmittarien elektrodit lyötiin lähellä toisiaan oleviin kohtiin. Kapasitiivisilla mittareilla mitattiin samasta kohdasta, missä elektrodit lyötiin puuhun. Jokaisesta mittauskohdasta otettiin kosteusnäyte, josta määritettiin puun keskikosteus ja kosteusgradientti punnitus- ja kuivausmenetelmällä. Keskimääräinen poikkeama vaihteli 1 - 3 %-yksikköä riippuen mittarien puulajikertoimista. Kapasitiivisilla mittareilla olivat poikkeamat vielä isommat. Yleensä kapasitiiviset mittarit antavat liian alhaisia arvoja.

Kenttäkokeissa tulee eri mittareiden ero selvemmin näkyviin. Kenttäkokeen puissa esiintyy enemmän tai vähemmän kosteusgradienttia. Erään sahan kokeessa oli yksi tietty mittari luotettavin, mutta seuraavassa kokeessa sama mittari ei pärjännyt juuri ollenkaan. Tuloksiin vaikuttaa paljon se, että oikea mittauskohda vaihtelee eri dimension ja kosteustason mukaan. Yleensä kapasitiiviset mittarit näyttävät liian alhaisia arvoja johtuen pinnan alhaisesta kosteudesta.

Tulosten tarkastelu

Koko projekti on vielä kesken, minkä vuoksi tulokset on tulkittava vielä suuntaa-antaviksi. VTT:n eri puulajeille määrittämät vastuskäyrät poikkeavat

paljon useampien vastuskosteusmittarien vastuskäyristä. Väärä vastuskäyrä voi näyttää monta prosenttiyksikköä vääriä kosteusarvoja. Tutkimuksessa selvitetään vielä puun sähköisten vastusten vaikutusta mm. lämpötilaan, pinta/sydänpuuhun ja eri kosteusmittarien elektrodien tyyppeihin.

Oikeat mittauskohdat sahatavaroille vaihtelevat riippuen puun dimensiosta, kosteudesta, kosteusjakaumasta ja puulajista. Oikeiden mittauskohtien määrittäminen kaikille sahatavaralaaduille on mahdotonta, mutta prEN (1375-13.01-2) standardissa mainitut mittauskohdat ovat jonkinlainen kompromissi kaikille dimensiolle ja eri kosteustasoille. Mitattu kosteus poikkeaa keskimäärin n. 1 %-yksikköä kappaleen keskikosteudesta.

Kapasitiivisilla mittareilla on isompia eroja mittareiden välillä kuin vastusmittareilla. Jos mittarit voidaan säätää puun tiheyden mukaan ja tarkistaa niiden kalibrointi, on mahdollisuuksia kehittää mittarit määrittämällä oikeat parametrit sahatavarakohtaisesti.

Tutkimuksen lopussa tarkistetaan kaikkien mittareiden ergonomiset asiat, kuten mittarin paino, mittarin muotoilu, näytön luettavuus, mittarin käyttökelpoisuus, mittarin kesto jne...

IMCOPCO-projektin puitteissa kehitetään parhaillaan kosteusmittauksen luotettavuutta sekä vastuskosteusmittarien että kapasitiivisten kosteusmittarien osalta eri laitevalmistajien kanssa.