**Ülesanded**

1. **Leia kõik pealkirjad ja määra pealkirja laadi. Kasuta kahetasemelist pealkirjade süsteemi. (Kus on kaks mõistet koos, siis see on pealkiri1 laadi ja kus mõiste kordub siis see on pealkiri2 laadi)**
2. **Muuda Normaallaad „normaalseks“, st Times New Roman 12 kirjalaad, 1,5 reavahe, rööpjoondus ja lõigu taha vahe 12 pt ning kontrolli, et kogu tekst peab olema normaallaadis.**
3. **Muuda pealkiri 1 laadi järgnevalt: kirjasuurus 16, paks kiri, vasak taane 2 cm, lehekülje vahetus pealkirja eest ja pealkiri 2 laadi – kirjasuurus 12, paks kiri, vasak taane 1 cm, vahe enne 12 pt ja pärast 6pt.**
4. **Nummerda kõik tabelid ja graafikud ning tee viited näidatud kohtadesse.**
5. **Muuda Pealdis laad: tavaline kiri, Times New Roman 12 tähesuurus, vasak taane 2 cm. Graafikud, tabelid paiguta rea keskele.**
6. **Nummerda ka osa valemeid (kus on vastav märge) ja viita nendele valemitele.**
7. **Nummerda leheküljed nii, et ülesannete ja sisukorra lehel ei ole lehekülje numbreid, teksti lehekülg algab numbrist 1.**
8. **Koosta dokumendi algusesse sisukord.**
9. **Koosta viidatud allikate andmebaas ja tee kirjanduse viited, kasutades vastavaid allikaid. (kustuta praegu töös olevad viited ja kirjanduse loetelu ja tee Wordi vahenditega kõik uuesti).**
10. **Töö lõpus on mitmed graafikud külili keeratud. Pööra need õigetpidi, vajadusel, kui graafik või tabel on väga lai, pööra hoopis leht horisontaalasendisse. Lisad on vaja ka nummerdada, kasuta pealdise lisamise vahendit.**

**Kahemõõtmeline sagedustabel. Statistiliste hüpoteeside kontrollimine.**

Sageli tekib statistikas vajadus uurida üheaegselt kahe tunnuse ühist käitumist. Sel juhul peab kasutaja käsutuses olema vähemalt kaheveeruline andmetabel — igal valimi objektil peavad üheaegselt olema mõõdetud mõlema tunnuse väärtused.

Järgnevas nimetame mõõdetavaid tunnuseid nimedega *X* ja *Y*. Väärtuste paari, mis saadakse i-nda objekti mõõtmisel tähistame (*xi, yi*). Järgnevas vaatame lihtsamaid võimalusi kahe tunnuse ühise käitumise kirjeldamiseks.

**Kahemõõtmeline sagedustabel**

Olgu tunnusel *X* *m* erinevat väärtust, tunnusel *Y* aga *k* erinevat väärtust. Nende tunnuste jaoks koostatud kahemõõtmelises sagedustabelis on siis *m* veergu ja *k* rida. Nii tekib tabelisse *m·k* lahtrit, milledest igaüks vastab tunnuste väärtuste erinevale kombinatsioonile. Igasse lahtrisse kirjutatakse vastava väärtuspaari esinemise sagedus *nij*. Tavaliselt lisatakse tabelisse veel üks lisaveerg ja lisarida, milles näidatakse ära tunnuste üksikväärtuste esinemise sagedused. Vastavaid sagedusi nimetatakse *ääresagedusteks e marginaalsagedusteks.* Edaspidises tähistame *i*-nda rea sageduse *ni., ni.* =  ja j.nda veeru sageduse *n.j, n.j* **=** .

**Näide 4.**

Vaatame näites 1 toodud andmetabelit (viide andmetabeli kohta). Koostame kahemõõtmelise sagedustabeli tunnuse *Sugu* ja *KKM* (Keskkooli keskmine matemaatika hinne) jaoks. Väljavõte andmemaatriksist, milles asuvad ainult nende tunnuste väärtused on järgmine

|  |  |
| --- | --- |
| ***Sugu*** | ***KKM*** |
| N | 5 |
| M | 4 |
| M | 4 |
| M | 4 |
| M | 3 |
| N | 4 |
| M | 5 |
| N | 3 |
| M | 3 |
| M | 4 |

Kahemõõtmeline sagedustabel aga sisaldab järgmisi arve

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Sugu  KKM | M | N | *ni.* |
| 3 | 2 | 1 | 3 |
| 4 | 4 | 1 | 5 |
| 5 | 1 | 1 | 2 |
| *n.j* | 7 | 3 | 10 |

Kahemõõtmelise sagedustabel (viide sagedustabeli kohta) annab ettekujutuse kahe tunnuse ühisest käitumisest. Enamasti pakub huvi selle ühise käitumise analüüsimisel, kas ühe tunnuse väärtuse muutmine põhjustab erinevusi teise tunnuse käitumises. Kahjuks ei ole aga erinevates ridades (või veergudes) asuvad sagedused enamasti omavahel võrreldavad, kuna vaadeldud väärtuste arv erinevates ridades võib olla väga erinev. Erinevate ridade (või veergude) omavaheliseks võrdlemiseks võetakse kasutusele suhtelised reasagedused *rij, rij= nij/ni.* ja suhtelised veerusagedused *vij, vij= nij/n.j.* Sageli esitatakse suhtelised sagedused protsentides.

Suhtelised reasagedused

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| KKM \ Sugu | M | N | *Summa* |
| 3 | 0.667  66.7% | 0.333  33.3% | 1  100% |
| 4 | 0.800  80.0% | 0.200  20.0% | 1  100% |
| 5 | 0.500  50.0% | 0.500  50.0% | 1  100% |

Suhtelised veerusagedused

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| KKM \ Sugu | M | N |
| 3 | 0.286  28.6% | 0.333  33.3% |
| 4 | 0.572  57.2% | 0.333  33.3% |
| 5 | 0.143  14.3% | 0.333  33.3% |
| Summa | 1  100% | 1  100% |

Näeme, et selles tabelis (viide reasagedustabeli kohta) on suhtelised reasagedused üsna erinevad. Kui hinde “viis” saajate hulgas on mehi ja naisi võrdselt, siis hinde “neli” saajate hulgas on meeste suhteline sagedus neli korda suurem. Samuti on veergude suhtelised sagedused (viide veerusagedustabeli kohta) üsna erinevad. Kui naiste hulgas on veeru suhtelised sagedused võrdsed — hinded jaotuvad ühtlaselt, siis meeste hulgas on suhtelised sagedused jaotunud normaaljaotusele tüüpiliselt — hinnet “neli” on mõnevõrra rohkem, kui “kolmesid” ja “viisi”.

Suhteliste sageduste analüüs võimaldab sageli teha sisulisi järeldusi tunnuste ühise käitumise seaduspärasuste kohta. Praegusel juhul — nii väikese valimi korral — aga ei ole see hästi võimalik.

**Korrelatsioonikordaja. Regressiooniseos.**

Eelmises paragrahvis kirjeldatud kahemõõtmelise sagedustabeli (viide sagedustabeli kohta) abil saab uurida kahe diskreetse (või ka mittearvulise) tunnuse vahelist seost. Pidevate arvuliste tunnuste ühise käitumise kirjeldamiseks on sobivam kasutada teistsuguseid vahendeid. Selles paragrahvis kirjeldame hajuvusdiagrammi, korrelatsioonikordajat ja regressiooniseost.

Kahe pideva tunnuse ühise käitumise kirjeldamiseks peab uurija käsutuses olema valim, kus igal uuritaval objektil või isikul on mõõdetud üheaegselt mõlema tunnuse väärtused, seega koosneb valim väärtuspaaridest (xi, yi), *i=*1, 2, ..., *n*.

# Hajuvusdiagramm

## Lihtsaimaks vahendiks kahe tunnuse vahelise seose kirjeldamiseks on hajuvus­diagramm. Hajuvusdiagramm on joonis, millele kantakse punktidena kõik valimi elemendid. Valimi *i*ndale elemendile vastava punkti esimeseks koordinaadiks on esimese tunnuse väärtus *xi*, teiseks elemendiks aga teise tunnuse väärtus *yi*. Punktide paiknemine hajuvusdiagrammil annab piltliku ettekujutuse tunnuste ühisest käitumisest.

**Näide 7.**

Vaatame näites 1 esitatud andmetabelit. Võtame vaatluse alla kaks tunnust — pea ümber­mõõt (*Pea*) ja keskkooli keskmine hinne (*KKH*). Saame valimi, mille väärtuseks on väärtuspaarid

### Pea 54 59 60 60 60 57 65 48 60

### KKH 4.7 4.0 4.5 4.3 4.0 4.5 4.6 3.75 4.5

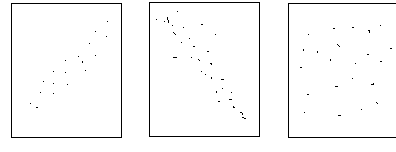
Selles valimis on 9 elementi, kuna kahe tunnuse ühise käitumise analüüsimisel saab kasutada ainult neid valimi objekte, millel on mõõdetud mõlema tunnuse väärtused. Joonistame hajuvus­diagrammi (viide hajuvusdiagrammi kohta), millele on kantud kõigile üheksale isikule vastavad punktid.

Joonisel olev punktiparv on mõnevõrra väljavenitatud kujuga, mis loob mulje, et tunnused võiksid olla sõltuvad — suurema pea ümbermõõduga kaasnevad sageli ka. kõrgemad keskmised hinded. Tähelepanelikul punktide vaatlemisel aga selgub, et tegemist võib olla pigem veaga, joonisel asub üks punkt, mis on ülejäänute suhtes nihutatud märgatavalt vasakule. See on punkt, mis vastab valimi kaheksandale elemendile, pea ümbermõõduna on siin märgitud 48 cm. Täiskasvanud inimese peaümbermõõt ei saa olla nii väike.

Joonistame uue hajuvusdiagrammi (viide järgnevale graafikule kohta), ilma kahtlase punktita.

Uus punktiparv on hajutatud ühtlasemalt igas suunas. Tunnuste kergelt märgatavat ühise käitumise tendentsi on siin raske esile tuua.

Tasub meeles pidada kolme tüüpilist hajuvusdiagrammi, millele võib tulemuste kirjeldamisel tugineda. Need on järgmised



Kasvav seos Kahanev seos Sõltumatud tunnused

*Kasvava* seose korral kaasnevad ühe tunnuse suurte väärtustega enamasti teise tunnuse suured väärtused ja ühe tunnuse väikeste väärtustega enamasti teise tunnuse väikesed väärtused. *Kahaneva* seose korral kaasnevad ühe tunnuse suurte väärtustega enamasti teise tunnuse väikesed väärtused ja ühe tunnuse väikeste väärtustega enamasti teise tunnuse suured väärtused*. Sõltumatute* tunnuste korral ei mõjusta ühe tunnuse väärtus mingil moel teise tunnuse käitumist. Punktiparv on ühtlaselt hajutatud.

# Korrelatsioonikordaja

Üldiselt on hajuvusdiagrammi põhjal antud kirjeldus tunnuste ühisele käitumisele subjektiivne. Kasulik oleks omada arvulist kordajat, mis annab hinnangu tunnuste vahelise seose tugevusele ja iseloomule.

Niisuguseks kordajaks on **lineaarne korrelatsioonikordaja,** mis määratakse valemiga

**.**(nummerdada)

Käsitledes juhuslikku vektorit defineerisime kahe juhusliku suuruse vahelise korrelatsioonikordaja. Valem (viide valemi kohta) määrab sellele korrelatsioonikordajale (nn. teoreetilisele korrelatsioonikordajale ρ) valimi põhjal hinnangu.

Lineaarse korrelatsioonikordaja määratlusest tulenevad järgmised omadused

1. Korrelatsioonikordaja väärtused asuvad –1 ja 1 vahel, -1≤r≤1.
2. Kui tunnuste vahel on kasvav seos, on korrelatsioonkordaja positiivne, r>0.
3. Kui tunnuste vahel on kahanev seos, on korrelatsioonikordaja negatiivne, r<0.
4. Kui tunnuste vahel on funktsionaalne seos Y = a + bX, siis on korrelatsioonikordaja absoluutväärtus võrdne ühega, |r|=1.
5. Kui tunnused on sõltumatud, on korrelatsioonikordaja väärtus null, r=0.

Tuleb aga meeles pidada, et korrelatsioonikordaja võrdumisest nulliga ei järeldu tunnuste sõltumatus. Tunnuste vahel võib olla sel juhul teatav seos, kui see on oma iseloomult mittelineaarne.

Tunnuste vahelise seose olemasolu võib kontrollida järgmise hüpoteeside paariga

Ho: ρ =0, tunnuste vahel pole lineaarset seost;

H1: ρ ≠0, tunnuste vahel on lineaarne seos.

Otsuse langetamiseks kasutatakse korrelatsioonikordaja põhjal leitud statistikut

.

Saab näidata, et kui uuritavad tunnused on normaaljaotusega, on nullhüpoteesi kehtides selle statistiku jaotuseks t-jaotus. Kasutades olulisuse nivood α, saame otsuse langetamiseks järgmise eeskirja

Kui |t| ≥ , siis võtta vastu sisukas hüpotees H1,

kui |t| < , siis jääda nullhüpoteesi H0 juurde

**Näide 8.**

Leiame näites 7 toodud valimi jaoks korrelatsioonikordaja ja kontrollime tema olulisust. Kasutame arvutuste tegemisel ainult 8 selle valimi elementi.

Leiame esmalt korrelatsioonikordaja väärtuse. Tunnuse *Pea* keskväärtus 59,37, tunnuse *KKH* keskväärtus 4.39

Edasised arvutused on kasulik koondada teatavasse abitabelisse.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *xi* | *yi* |  |  | ()2 | ()2 | ()() |
| 54 | 4.7 | -5.375 | 0.313 | 28.89063 | 0.097656 | -1.67969 |
| 59 | 4.p | -0.375 | -0.388 | 0.140625 | 0.150156 | 0.145313 |
| 60 | 4.5 | 0.625 | 0.113 | 0.390625 | 0.012656 | 0.070312 |
| 60 | 4.3 | 0.625 | -0.088 | 0.390625 | 0.007656 | -0.05469 |
| 60 | 4.0 | 0.625 | -0.388 | 0.390625 | 0.150156 | -0.24219 |
| 57 | 4.5 | -2.375 | 0.113 | 5.640625 | 0.012656 | -0.26719 |
| 65 | 4.6 | 5.625 | 0.212 | 31.64063 | 0.045156 | 1.195313 |
| 60 | 4.5 | 0.625 | 0.113 | 0.390625 | 0.012656 | 0.070312 |
|  |  | **0** | **0** | **67.875** | **0.489** | **-0.763** |

Arvutame nüüd korrelatsioonikordaja väärtuse

-0.132.

Näeme, et see on üsna lähedal nullile, mis on ka antud tunnuste korral igati ootuspärane tulemus.

Kontrollime veel ka lineaarse seose olulisust. Esitame vastavad statistilised hüpoteesid

Ho: ρ =0, tunnuste vahel pole lineaarset seost;

H1: ρ ≠0, tunnuste vahel on lineaarne seos.

Valime olulisuse nivoo, olgu α = 0.01. Otsuse langetamiseks vajalik kriitiline väärtus  1.94.

Arvutame otsuse langetamiseks vajaliku statistiku

-0.33.

Näeme, et statistiku absoluutväärtus on tunduvalt väiksem kriitilisest väärtusest, 0.33<1.94. Ootuspäraselt peame jääma nullhüpoteesi juurde. Lineaarse seose olemasolu pea ümbermõõdu ja keskkooli keskmise hinde vahel ei õnnestu tõestada.

# Regressiooniseos

Kui lineaarse seose olemasolu kahe tunnuse vahel õnnestub tõestada, oleks kasulik seda seost kirjeldada. Vaatame, millisest mudelist oleks sel juhul kasulik lähtuda.

Oletame, et seos tunnuste vahel avaldub üldkogumis kujul

Yi = α + βxi + εi, (nummerdada)

kus summa α +βxi määrab selle osa tunnuse Y väärtusest, mis on määratud tunnuse X väärtuse xi poolt, ε aga tähistab juhuslikku viga, so seda osa tunnuse väärtusest, mis sõltub ainult juhuslikest mõjudest. Kordajaid α ja β nimetatakse **regres­siooni­kordajateks**.

Juhusliku vea kohta eeldatakse, et tema keskväärtus on null (Eεi = 0) ja dispersioon iga X väärtuse korral sama (Dεi=σ2). Seega kehtib võrdus

EYi = α + βxi,

meie poolt kasutusele võetud mudel (viide valemi kohta) määrab tunnuse Y *keskmise taseme*. Tunnuse tegeliku väärtuse kujunemisel tekib juhusliku vea mõjul kõrvale kalle sellest keskmisest tasemest.

Tasub tähele panna, et niisuguses mudelis (viide valemi kohta) on tunnustel erinev roll. Tunnust X, mida kasutatakse tunnuse Y kirjeldamisel, nimetatakse **sõltumatuks tunnuseks** (või *argumenttunnuseks*). Tunnust Y, mille väärtuse kujunemist mudel kirjelda, nimetatakse **sõltuvaks tunnuseks** (või *funktsioontunnuseks*). Parameetrid α, β ja σ on tundmatud, neile tuleb valimi põhjal määrata hinnangud.

Lihtsaks näiteks niisuguse mudeli (viide valemi kohta) rakendamiseks on teatava konstandi mõõtmine. Olgu konstandi tegelikuks väärtuseks μ, *i*ndal mõõtmisel saadud tulemus aga Yi. Siis

Yi  = μ + εi,

tegelik väärtus määrab mõõtmistulemuse keskmise taseme, mitmesugused segavad juhuslikud mõjud põhjustavad aga teatava kõrvalekalde sellest keskmisest tasemest. Selles näites on argumenttunnus konstantne, st kordaja β on selles mudelis null.

Mudeli parameetritele α ja β tuleb määrata hinnangud valimi põhjal. Parameetrite hindamisel lähtutakse vähimruutude printsiibist.

**Vähimruutude printsiip.** Mudeli parameetrite hinnanguks tuleb valida sellised arvud, mille korral, erinevused tegelike mõõtmistulemuste ja mudeli põhjal määratud väärtuste vahel oleksid minimaalsed.

Erinevust tegeliku mõõtmistulemuse yi ja mudeli põhjal määratud väärtuse a+bxi vahel mõõdab hälve

yi − a − bxi.

Kuna hälbe märk ei oma erinevuse mõõtmisel tähtsust, siis vähimruutude printsiibi rakendamisel liidetakse kokku hälvete ruutude summa üle kõikide valimi elementide. Seega kordajate hinnangute määramiseks tuleb minimiseerida summa



Kordajate määramine taandub lihtsale kahe muutuja funktsiooni miinimumi leidmise ülesandele .Seega tuleb arvutada osatuletised *a* ja *b* järgi, võrdsustada need nulliga ja lahendada saadud võrrandisüsteem. Tulemusena saame regressioonikordajate *vähimruutude hinnangud*

, (nummerdada)

.(nummerdada)

Regressioonikordaja *b* (viide valemi kohta) määrab regressioonisirge *tõusu*. Sisuliselt näitab ta sõltuva tunnuse keskväärtuse muutust, kui argumenttunnuse väärtust suurendada ühiku võrra. Regressioonikordaja *a* (viide valemi kohta) määrab regressioonisirge *algoordinaadi*. Sisuliselt näitab ta sõltuva tunnuse väärtust, kui argumenttunnuse väärtuseks on null. Niisugune tõlgendus aga pole alati rakendatav. Regressiooniseos määratakse piirkonna jaoks, millest vaatlusi on tehtud. Argumenttunnuse väärtus 0 ei pea aga alati kuuluma vaadeldud väärtuste hulka.

Regressiooniparameetrite hulka kuulub ka juhusliku vea dispersioon σ2. Selle hinnanguks on loomulik valida hälvete ruutude keskväärtus. Nihketa hinnangu määrab valem

.

Seda juhusliku vea dispersiooni hinnangut nimetatakse sageli ka *keskmiseks* *ruutveaks*.

Juhusliku vea standardhälbe hinnanguks on *s,*

*s = ,*

seda suurust nimetatakse ka *keskmiseks standardveaks*.

Kuna regressioonikordajate hinnangud on määratud valimi põhjal, siis on nad reeglina ebatäpsed. Kui lisada täiendav eeldus, et juhuslikud vead on normaaljaotusega, saab näidata, et ka regressioonikordajate jaotuseks on normaaljaotus. Võtame vastavate jaotuste parameetrite esitamiseks kasutusele lühitähistused

.

Siis

*b*~N(β, )

ja

*a*~N(α, σ).

Regressioonikordajate täpsust saab kirjeldada usaldusintervallide abil. Põhimõtteliselt saame kasutada kolmandas paragrahvis toodud valemeid —tuleb ju usaldusintervallid leida normaaljaotuse keskväärtusele. Kuna juhusliku vea standardhälve σ on tundmatu, siis usaldusintervallide välja kirjutamisel tuleb see suurus asendada valimi põhjal leitud hinnanguga *s.* Tähistame valitud usaldusnivoo 1-α, siis usalduspiirid tõusule β avalduvad järgmiselt

β =

,

usalduspiirid vabaliikmele α aga järgmiselt

|  |  |
| --- | --- |
| α = | () |

,



.

Võrreldes valemeid regressioonisirge tõusu *b* (1) ja korrelatsioonikordaja *r* arvutamiseks, on lihtne näha, et kehtib võrdus

*b =r.*

Kasutades seda kuju hälvete ruutude summa valemis, saame peale mõningaid algebralisi teisendusi

.

Kuna hälvete ruutude summa kirjeldab seda osa sõltuva tunnuse muutlikkusest, mis jääb regressioonisirge poolt kirjeldamata, siis annab see valem korrelatsioonikordaja ruudule *r2* erilise sisu*.*

Korrelatsioonikordaja ruutu nimetatakse *determinatsioonikordajaks* ja ta näitab, millise osa sõltuva tunnuse muutlikkusest kirjeldab regressiooniseos.

Kasutades regressioonikordajate hinnanguid saab iga etteantud argumenttunnuse korral prognoosida sõltuva tunnuse väärtust. Olgu etteantud argumenttunnuse väärtus *x\*,* siis

*y\* = a + bx\*.*

Niisugune prognoos on kahtlemata ebatäpne. Tasub meelde tuletada, et regressioonisirgel asuvad vaid sõltuva tunnuse keskväärtused. Tegelik sõltuva tunnuse väärtus kujuneb keskväärtuse ja juhusliku vea liitumisel.

Kuid ka sõltuva tunnuse keskväärtust ei saa me täpselt määrata — tõelised regressioonikordajad α ja β on tundmatud, meie käsutuses on ainult nende vähimruutude hinnangud.

# Komposiitseina soojustuse valik ja soojusjuhtivuse arvutused

Kuna tänapäeval on väga aktuaalne keskkonnaressursside säilitamine ja säästlik kasutamine, tuleks seda järgida ka käesoleva komposiitseina arendamisel.

Säästev ehitamine on jätkusuutliku arengu tagamine kõikidel ehitise olelusringi etappidel (Miljan, J. 2008):

* kavandamisel (asukoha valik, eelprojekt, pinnaseuuringud);
* projekteerimisel (arhitektuurne kujundus, materjalikasutus, tarindid, tehnilised lahendused);
* ehitamisel (parima võimaliku tehnoloogia kasutamine, materjalid, kvaliteet);
* kasutamisel (hooldus, remont, sisekliima, küte, vesi, kanalisatsioon);
* lammutamisel (materjali ja tarindite taaskasutus, energiakasutus).

Nii nagu kogu maailmas, minnakse ka Eestis üle traditsiooniliselt ehituselt säästvale. Tähelepanuta ei tohiks jätta ka seda, et kui kasutada ehituses kohalikku looduslikku materjali (nt ehedat savi, soojustuseks saepuru või linaluud) saab nende olelusringis suure energiamahukusega etappe vahele jätta (Miljan, J. 2008).

Seetõttu oleks otstarbekas ka puidust komposiitseina soojustusena kasutada kohalikke looduslikke puistematerjale. Lisaks säästlikkusele tagavad looduslikud materjalid ka tervisliku elukeskkonna.

2007 a. Maaülikooli ehitusfüüsika laboris läbiviidud katsed näitavad, et looduslikud soojusisolatsioonimaterjalid suudavad edukalt konkureerida tehislikega (Miljan, J., Miljan, M.-J. 2007).

Soojustuse kihi paksus sõltub hoone tüübist, välisseinte konstruktsioonist ning isolatsioonimaterjalist (mineraalvill, vahtplast vm). Kehtivate normide kohaselt ei tohiks välisseina soojusjuhtivus olla suurem kui U=0,28 W/(m2K), soovituslik soojusjuhtivus on U=0,20 W/m2K (Maxit Estonia 2008).

Järgnevalt leitakse puidust komposiitseina soojusjuhtivustegur U [W/(m2K)], kui soojustusena kasutada erinevaid puistematerjale.

Looduslike soojustusmaterjalide tihedused (kg/m3) ja soojaerijuhtivused λ [W/(mK)] (Miljan, M.-J. 2007):

* hundinui, 31,0 kg/m3, λ = 0,0329;
* saepuru, 178,9 kg/m3, λ = 0,0418;
* turvas, 135,9 kg/m3, λ = 0,0341;
* pilliroog, 96,6 kg/m3, λ = 0,0379;
* linaluu, 111,9 kg/m3, λ = 0,0300;
* höövlilaast, 117,0 kg/m3, λ = 0,0408.

Tehismaterjalide tihedused (kg/m3) ja soojaerijuhtivused λ [W/(mK)] (Metsmägi 2008):

* tselluvill, 50 kg/m3, λ = 0,038;
* tselluvill, 30 kg/m3, λ = 0,039;
* klaasvill, 50 kg/m3, λ = 0,030;
* klaasvill, 30 kg/m3, λ = 0,032;
* kivivill, 50 kg/m3, λ = 0,032;
* kivivill, 30 kg/m3, λ = 0,043.

Puidu ja vineeri soojaerijuhtivuste väärtustena on arvutustes kasutatud λpuit = 0,13 ja λvineer = 0,15 (Masso 2008). Arvutused on tehtud „Ehituskonstruktori käsiraamatu“ 2. osa järgi, kusjuures arvesse on võetud seina sise-ja välispinna soojatakistusi, ning külmasilla olemasolu (sideelementide näol). Sise-ja välislaudise paksuseks on 33 mm ja sideelemendid pakusega 18 mm paiknevad seinas 600 mm sammuga. Arvutused on toodud lisas 11 koondtabelis ja selle põhjal koostatud tulpdiagramm on toodud joonisel (viide järgnevale graafikule)

Jooniselt 5.1 on näha, et juba 150 mm paksuse isolatsioonimaterjali kihiga on tagatud Eestis lubatud seina soojusjuhtivus. 200 mm paksuse soojustusmaterjali kihiga on kindlustatud soovituslik soojusjuhtivus.

****

**Joonis 5.1.** Komposiitseina soojusjuhtivus sõltuvalt soojustusmaterjalist ja seina paksusest.

Kuna puidust komposiitseina konstruktsioon võimaldab seina paksuse varieerumist väga suurtes vahemikes, jääb soojustusmaterjali kihi paksus otsustada hoone omanikule (viide joonisele). Kulutades hoone ehitusperioodil veidi rohkem raha ja tehes paksemad seinad, säästame kasutusperioodil kütte arvelt ühe suurenevaid summasid.

Edasistes uurimustes tuleks määrata nii puidust komposiitseina kui ka terve hoone õhupidavus. Isolatsioonimaterjali kihi paksuse suurenemisel tekib materjali sees konvektsioon. Tuleks uurida ka isolatsioonimaterjalide kihiti eraldamise võimalusi komposiitseinas.

# VIIDATUD ALLIKAD

1. Kiviste, A. 1998. Matemaatilise statistika algteadmisi ja rakenduslikke näiteid *MS Excel*i keskkonnas. Tartu, 86 lk.
2. Metsmägi, A. 2008. Puidust kergseinte soojustamine, omadused ja kestvus. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ.
3. Miljan, J., Miljan, R. 2008. Hoonete säästlik ehitamine looduslikke materjale kasutades.- *Keskkonnatehnika*, 2/08, 44-47.
4. Miljan, M.-J. 2006. Diplomipraktika aruanne. Tartu: Eesti Maaülikool.
5. Miljan, J., Miljan M.-J. 2007. Looduslik soojusisolatsioon ehitustel taas au sisse.- Ehitaja, 06/2007, 53-55.
6. Miljan, M.-J. 2007. Kohalike soojusisolatsioonimaterjalide kasutamine piirdekonstruktsioonides. Magistritöö maaehituse erialal. Tartu: EMÜ.
7. Maxit Estonia. Soojusjuhtivusest. 2008.

[http://maxit.ee/1714] (01.05.2008)

Lisa 4. Dünamomeetri „дс-3“ *kalibreerimisgraafik.*

*Lisa 5. Proovikatse andmed. Puidu ristikiudu niiskuspaisumisel tekkivate pingete sõltuvus seina kõrgusest.*

**Joonis L5.1.** Proovikatse skeem.

1) katsekeha, 2) vann veega, 3) fikseeritud pressi surveplaat, 4) dünamomeeter, 5) karpraud.

*Tabel L5.1.* ***Proovikatse andmed puidus ristikiudu tekkivate pingete määramisel.***

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Kuupäev |  | 24.03.08 | 24.03.08 | 25.03.08 | 25.03.08 | 26.03.08 | 26.03.08 | 27.03.08 |
| Kellaaeg |  | 11:00 | 21:00 | 9:00 | 18:00 | 13:00 | 20:00 | 11:00 |
| Tunnid | h | 0 | 10 | 22 | 31 | 50 | 57 | 72 |
| Dünamom | mm | 1,12 | 0,94 | 0,98 | 1,02 | 1,09 | 1,12 | 1,16 |
| Jõud | N | 7137,1 | 5900,0 | 6175,0 | 6449,9 | 6931,0 | 7137,1 | 7412,1 |
| Jõu kasv | N | 0,0 | -1237,1 | -962,2 | -687,3 | -206,2 | 0,0 | 274,9 |
| Pingete kasv | N/mm2 | 0,0000 | -0,0412 | -0,0321 | -0,0229 | -0,0069 | 0,0000 | 0,0092 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Kuupäev |  | 28.03.08 | 28.03.08 | 29.03.08 | 29.03.08 | 30.03.08 | 31.03.08 | 01.04.08 |
| Kellaaeg |  | 11:00 | 19:00 | 10:00 | 19:00 | 10:00 | 10:00 | 14:00 |
| Tunnid | h | 96 | 104 | 119 | 128 | 143 | 167 | 195 |
| Dünamom | mm | 1,20 | 1,21 | 1,23 | 1,23 | 1,14 | 1,14 | 1,08 |
| Jõud | N | 7687,0 | 7755,7 | 7893,2 | 7893,2 | 7274,6 | 7274,6 | 6862,2 |
| Jõu kasv | N | 7687,0 | 7755,7 | 7893,2 | 7893,2 | 7274,6 | 7274,6 | 6862,2 |
| Pingete kasv | N/mm2 | 0,2562 | 0,2585 | 0,2631 | 0,2631 | 0,2425 | 0,2425 | 0,2287 |

### Lisa 5. järg

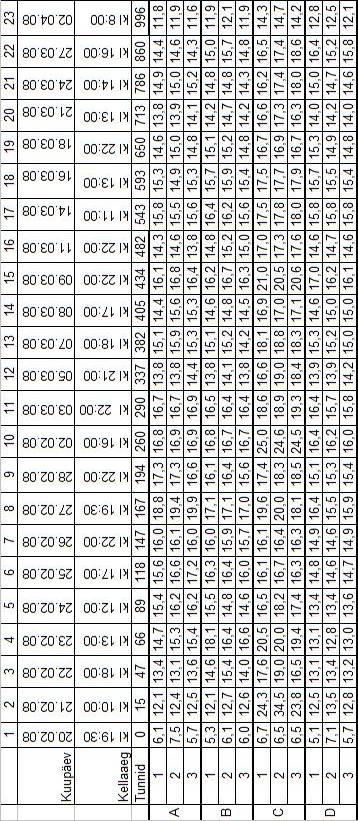
**Tabel L5.2.** Proovikatse andmed. Puiduniiskused, %.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | abs. kuivana | kuivana | max niiskuse juures | kuivamis- perioodi lõpus |
| Kaal, g | 2730,9 | 3072,3 | 3607,5 | 3245,0 |
| Niiskus, % | 0 | 12,5 | 32,1 | 18,8 |



**Joonis L.5.2.** Graafik kirjeldab pingete muutumisi proovikatsel (koostatud tabeli L.5.1 põhjal).

### Lisa 6. Katseandmed. Välitingimustes tekkiv puidu ristikiudu niiskuspaisumine sõltuvalt seina asukohast ilmakaarte suhtes.

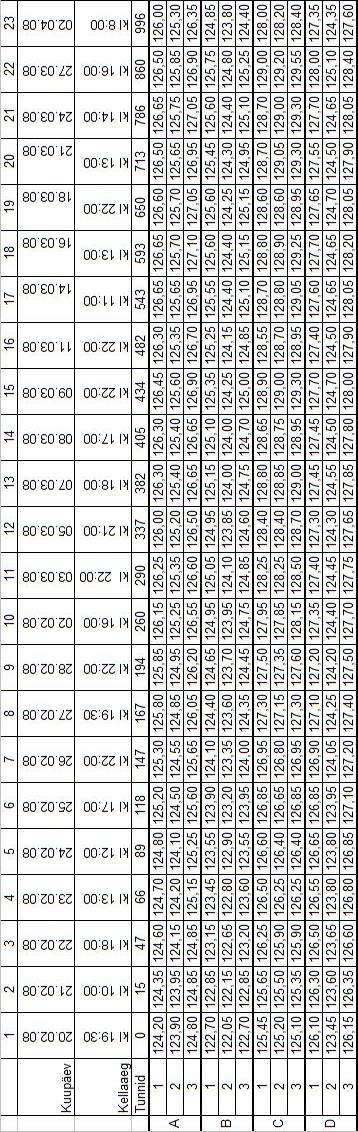
**Tabel L.6.1.** Katsel mõõdetud puidu veesisaldused, %.

### Lisa 6. järg

**Joonis L.6.1.** Puidu veesisalduse muutumine aja jooksul sõltuvalt katseha paiknemisest ilmakaarte suhtes(koostatud tabelis L.6.1 toodud katseandmete põhjal).

### Lisa 6. järg

**Tabel L6.2.** Katsel mõõdetud puidu niiskuspaisumine-kahanemine, mm.



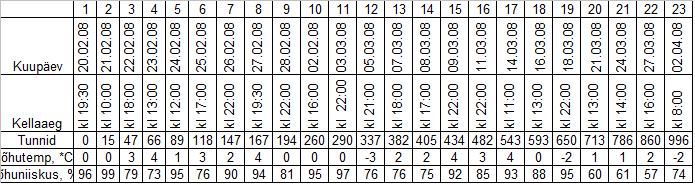
### Lisa 6. järg



**Joonis L.6.2.** Puidu niiskuspaisumine-kahanemine aja jooksul sõltuvalt katseha paiknemisest ilmakaarte suhtes(koostatud tabelis L.6.2 toodud katseandmete põhjal).

### Lisa 6. järg

**Tabel L.6.3.** Katse vältel olnud välisõhu temperatuuri ja niiskuse väärtused.





**Joonis L.6.3.** Katse vältel toimunud välisõhu niiskuse ja temperatuuri muutused (%, ºC). Graafik on koostatud tabelis L.6.3 toodud katseandmete põhjal.