

“Ehitaja Sügiskonverentsi 2001” ettekandest Pärnus 1.-2. novembril

PUIDU KASUTUSVÕIMALUSED KAASAJAL

Puit on üks vanemaid ehitusmaterjale. Arheoloogiliste uuringute tulemused näitavad, et ürginimene kasutas puitu ehitusmaterjalina tänu selle laialdasele levikule, kergele kaalule ja töötlemise hõlpsusele juba 10 000 aastat e.m.a.

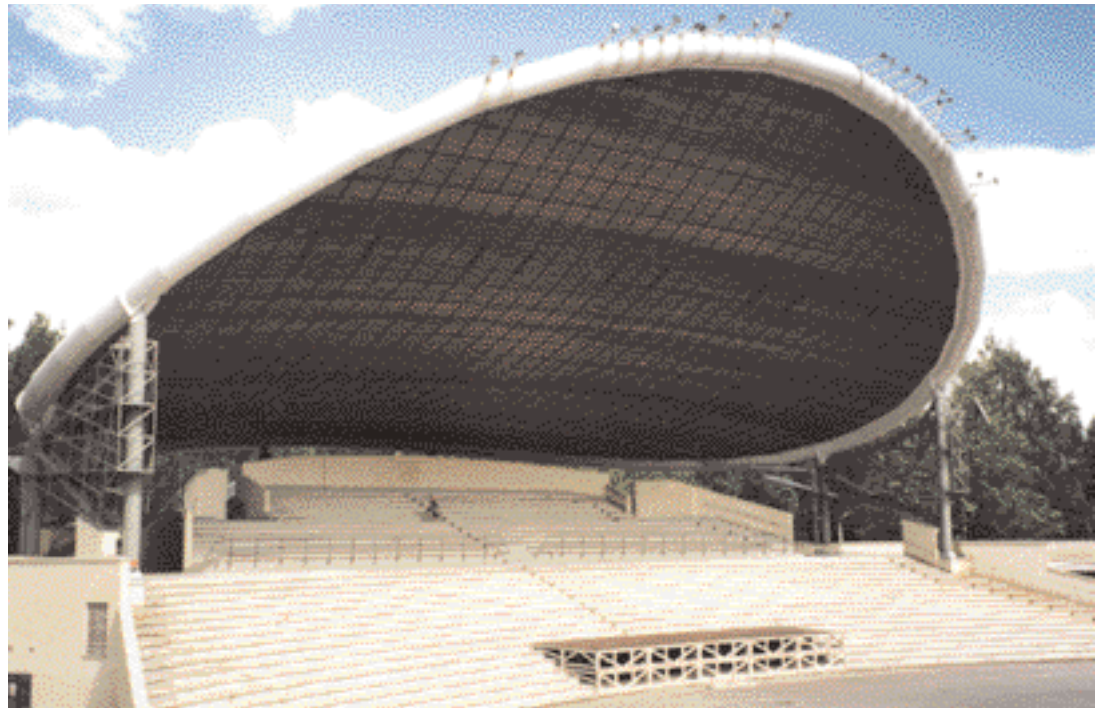
Tänapäeval oleme puidu kasutamisel jõudnud teisele ringile ja loeme tema eelisteks järgmisi asjaolusid:

- on endiselt laialt levinud;
- on taastuv loodusmaterjal;
- puidu laialdasema kasutamisega taastumatute loodusmaterjalide asemel lükame edasi viimaste lõppemise aega;
- on suhteliselt kerge konstruktsioonimaterjal, $\gamma/ft = 4...5 \times 10^{-4}$ (teras $3,4 \times 10^{-4}$, betoon M300 $1,85 \times 10^{-4}$), ega muidu saaski ehitada lennuki puidust kandekarkassi või lennukit ja laeva;
- on ökoloogiline materjal – ei koorma loodust, absorbeerib CO₂, vabaneb hapnik, põlemisel ei lisandu keskkonda SO₂, jäätmete utiliseerimine ei ole probleem;
- on hõlpsalt töödeldav, vähe valmistamise (primaarset) energiat sisaldav materjal;
- on hoone välispiirdena ise soojapidav materjal, $\lambda = 0,129 \text{ W/m K}$.

Samas on puit looduslik plast, käitudes suuresti nagu tehispplast. Loomulikult on viimaste omadused oluliselt homogeensemad (kuid esineb ka ortotroopseid plaste).

Vaatamata loetletud eelistele, jäi vahepeal, sõjajärgsel suure industrialiseerimise perioodil, puidu kasutamine tagasihoidlikuks.

Seoses Eestiga tuleb märkida, et käesolev seisund, s.o suhteliselt tagasihoidlik puidu



Tartu laululava. (1)

kasutamine kandekonstruktsioonides, tuleneb NL-aegsetest arusaamadest, materjalide kasutamise eeskirjadest ja projekteerimise normidest.

1. Välja oli arendatud tohutu võimas betoon- ja raudbetoonkonstruktsioonide tööstus (tehaseline valmistamine), mis paljudes kohtades töötas ainult poole võimsusega. Seetõttu olid raudbetoonkonstruktsioonid soositud. Paraku vananedid tohutud terasvormide virnad enne, kui neid kasutada jõuti, sest töötati välja järjest uusi elementide tüüpe.

2. Puidu vähest kasutamist põhjustas ka see, et NL-is

oli võimas terasetööstus ja selleks vajalik toormaterjal.

3. Vähesese kasutamise omaette põhjuseks olid väärarusaamad puidu vastupidavusest ja tulepüsivusest (vt foto 2).

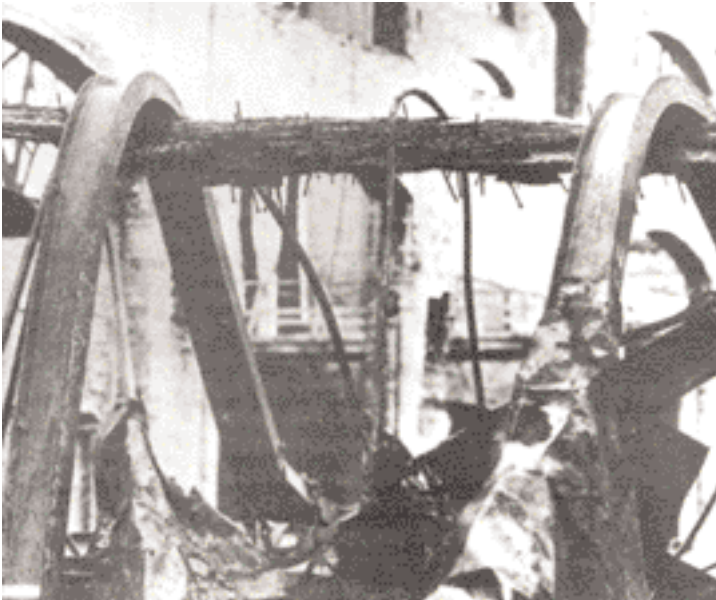
NL-i territooriumil paiknes ca 2/3 maailma metsavarudest, millest omakorda 2/3 oli okaspuit. Kahjuks 2/3 sellest asus teisel pool Uraale ja puidu kasutamine ning selle ala areng jäi viimase 30...40 aasta jooksul kõigest hoolimata väga tagasihoidlikuks. Ka Eesti on metsamaa, umbes 50 % territooriumist on kaetud metsaga, aga selle kasutamise tase oli sama nagu kogu tollaegses NL-is.

Muidugi on puidul ka

omad puudused: see on süttiv ja mädanev ning putukate, valguse ja UV-kiirguse poolt kahjustatav, eriti siis, kui kasutamise tingimused ei vasta nõuetele.

Mida on viimastel aastakümnetel puidu kasutusvõimaluste laiendamiseks maailmas tehtud ja mida oleme ise suutnud korda saata?

Läänes arendati puitkonstruktsioonimaterjale, liidete konstruktsioone ja kõikvõimalikke puitkonstruktsioone intensiivselt edasi. Viimase paari aastakümne jooksul on areng olnud lausa hüppeline. Puitu kasutatakse peaaegu kõikides kandekonstruktsioonides, olgu



Terase ja puidu tulepüsivuse võrdlus. (2)

need siis suureavalised, rippvõi lintsillad, suureavaliste spordirajatiste, nagu staadionide ja ujulate katusekonstruktsioonid, rippkatused, tööstushoonete kandekonstruktsioonid, loomakasvatushooned, koolimajad, korruselumajad, sadamarajatised, kõrgepingemastid, rääkimata pereelamutest.

Seejuures võib esile tuua:

- materjale nagu ümarpuut (palgid), saematerjal, liimpuit, vineerkihtpuut, vineerribapuit (parallam), termiliselt töödeldud puut; puidupõhjalisi materjale nagu vineer, laastplaat, puutkiudplaat jne;
- liim- ja mehaanilisi liiteid, viimastest mitmesuguseid uudseid nael- ja kruviliiteid, oga- ja naelplaatliiteid, naagel- ja poltliiteid, haakliiteid, Janebo haakliiteid, BVD-tüüpi liiteid, suurt hulka ralttüüpi liiteid, struktuurkonstruktsioonide sõlmelemente jne;
- uudseid projekteerimise eeskirju (eurokoodid). Eessti keeles oleme senini suutnud tõlkida, kohandada ja publitseerida peaaegu kõik projekteerimise normid ja osa nendega seotud standardeid (vt kirjanduse loetelu). Samas tuleb märkida,

et aluseks võetud eurokoodid on vahepeal märkimisväärselt muutunud. Seega tuleb ka eestikeelseid väljandeid lähemal ajal korrigeerida.

Viimatimainitud alal on mujal maailmas tehtud olulisi uurimistöid ja edasi arendatud arvutusmeetodeid. Järgnevalt mõned näited, mis ühtlasi tõestavad, et uute normide rakendamine võib anda materjali kokkuhoidu ja lubab kasutada saledamaid konstruktsioone:

- norm- ja arvutustugevuste täpsem määramine;
- surutud elementide saledus ei ole rangelt ette kirjutatud;
- ristkülikulise ristlõikega vildakpaindega koormatud talade paindetugevuse kontrollil plastika lubamine nurkades;
- liidete deformatsiooni täpsem arvestamine, liidete täpsem arvutamine ja dimensioonimine, sh hübriidkonstruktsioonide liidete arvutamise võimalused;
- läbipainete täpsem arvutamine (aja ja muude faktorite mõju arvestamine);
- vibratsioonide arvestamise võimalus;
- toereaktsioonide (kohaliku muljumise ja löikejõu) mõju täpsem arvutamine;



Komplekskonstruktsioonis laepaneel ja selle kandevõime uurimine. (3)

Staadionikatuse kandekonstruktsioon "Pirkahalli" Tampere. (4)





Kiidjärve metskonna 28 m kõrgune ümarpuidust vaatetorn. (5)



Estonia teatri katusealused saalid. (6)

- kaar- ja raamkonstruktsioonide geomeetrilise mittelineaarsuse arvestamine;
- puidu kaitse (mädanemine, putukkahjustused, tuleoht) oluliselt laiemad võimalused.

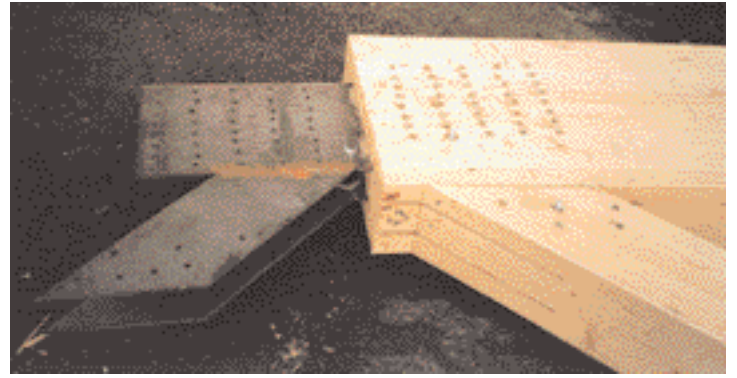
Tulepüsivuse ja vastupidavuse küsimused on nüüd paremini lahendatud ja seoses sellega saab ka puidu kasutusala laiendada. Uute normide rakendamise ja võimaluste realiseerimine nii hoonete kui sildade alal Eestis oleneb ka sellest, kui kiiresti jõuame tõlkida, kohandada ja evitada vastavad valmistamise standardid.

Viimasel ajal on maailmas korraldatud erakordselt suuri puidu ja puitkonstruktsioonide alaseid konverentse, millest publikatsioonide kaudu saab selle ala praegusest seisust täieliku ülevaate (vt näiteks [8...10]).

Samal ajal on ka meil ilmunud kas tõlgituna või eesti keeles kirjutatud raamatuid ja brošüüre nii hoonete renoveerimise kui ka erinevate materjalide ja konstruktsioonide alalt. Kahjuks on nii mitmedki neist koostatud kas vananenud raamatute, arusaamade või normide baasil ja sageli halvasti tõlgitud, kasutatud küsitavaid või lausa vääri termineid. Nii näiteks muidu heas puitu käsitlevas raamatus (vt [13]), esineb selliseid termineid nagu silinder-, konoid-, HP-võlv (mis tegelikult on koorikud), samuti karakteristikke tugevusi, ingliskeelseid termineid jne. Mitmetesse praegu ilmutavatesse, eriti tõlgitud või erinevatest allikatest kokkupandud ürikutesse tuleks suhtuda teatava ettevaatusega. Vastavalt senikehtinud puidualastele euronormidele on kirjutatud raamat [12], kus on esitatud ka hulk arvutusnäiteid.

Uute lahenduste uurimine Eestis

Lähtudes uutest arusaamadest, kus terast tuleb tule eest (s.o temperatuuri eest) puiduga kaitsta, võib väga efektiivselt



Naagelliittega 90 m avaga puitkaarsõrestiku sõlm. (7)

osutada näiteks puittalade armeerimine teras- või plastvarrastega, või isegi terasvarrastega eelpingestamine. Teine konstruktsioonitüüp, mida oleme väga suures ulatuses uurinud, on erinevat tüüpi kihilised puitkoorikud. Kolmas soodne lahendus on hübriid(kompleks)konstruktsioonid, kus puit-teras või puit-teras-betoonkonstruktsioonis töötab iga materjal temale sobivaimal viisil. Oleme neid probleeme uurinud ja üsna palju ka mujal maailmas neist asjadest kirjutanud või antud teemadega konverentsidel esinenud. Siinkohal lühidalt mõned tulemused:

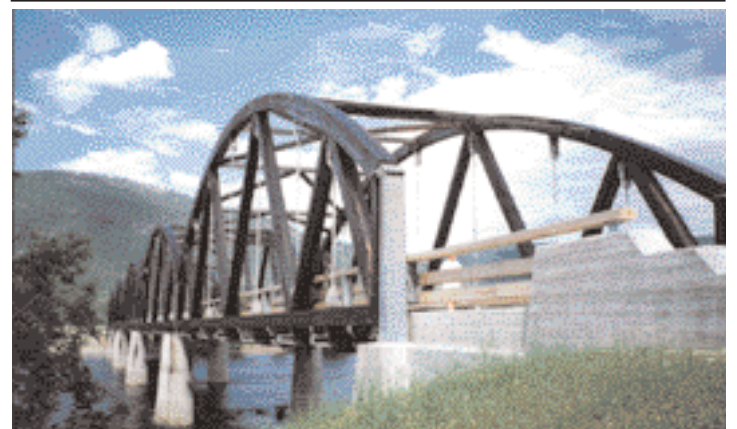
- armeeritud tala kandevõime oluline kasv, kus terassarv saavutab voolupiiri;
- eelpingestatud talade töö elastse piirkonna kasv, kuid samas vajab toepiirkond tugevdamist;
- puitkoorikute uurimine ja evitamine, ehitamise lihtsus ja töökindlus;
- komplekskonstruktsioonis laepaneel ja selle kandevõime uurimine (foto 3);

- suurim kompleks(hübriid)konstruktsioon on Tartu laululava (foto 1), kus oli tegemist huvitavate arvutusprobleemidega seoses kontuuri, terastrossidest võrgu ja kolmekihilise puitkooriku koostöö ning aja mõjuga koormuste ümberjaotamisel puidu ja terase vahel.

Näiteid headest lahendustest, sh Eestis:

- elamuehitus (kergekstruktsioonis ühe- ja eriti mitmekorruselised elamud Kanadas, USA-s, Rootsis, Soomes jne);
- tööstushooned, kus kõik kandelemendid on puidust, sh sildkraana talad,
- põllumajandushooned ja -ehitised (silod ja virtsahoidlad);
- ühiskondlikud hooned ja rajatised, avad kuni 100 m ja enam (foto 4 ja 7, staadionikatuse kandekonstruktsioon "Pirkahalli" Tampere);

Evenstadi maanteeasild Norras. (8)





Vihantosalmi puidust maantee-sild. (9)



Loodusesse sobiv puidust jalakäijate sild (Soomes). (10)

talakandjad jne. On ka puitkarkassil hooneid, nagu Tartus hotell Kantri, Tartu uus turuhoone (kalaturg), Tallinnas Peoleo söökla-kohvik Õismäel, ridaelamud Kadaka teel, kerged puitkarkasselamud Tiskre ja Veskimõldre elamurajoonis, Pirital ja Maarjamäel ning Tartus ja mujal. Tänapäevase lahendusega on ka mõned puitsillad: jalakäijate sild Tõrvas, Tagavere maantee-sild, esile võiks tõsta Merirahu jalakäijate kaarsilla. Tuleb märkida ka Põlvamaa Kiidjärve metskonna 28 m kõrgust ümarpuidust vaatetorni (foto 5), Emumäe vaatetorni ja teisi taolisi puidust ehitisi.

Tootmine ja ökonomika

Eesti metsaressursid (aastaraamat "Mets 2000"):

Alljärgnevalt esitatud andmed on kõigest hoolimata teataval määral ligikaudsed.

Saematerjal

AS Imavere Saeveski ~200 000 m³ saematerjali aastas (täiesti uus tehnoloogia, tunnelkuivatid, senini puudub veel mehaaniline sorteerimine), Paikuse saeveski ~140 000 m³ aastas, Rakvere saeveski 60 000 m³ aastas.

Liimpuit

AS Põlva Liimpuit (kandekonstruktsioonid) ühevahetuselise töö puhul 1400 m³ aastas, aastal 2002 võiks olla 2000 m³.

Puitmaterjalide antiseptilise töötlemise võimalused

ELKE Palivere puutööstus ~60 000 m³, lisaks Eesti Energia ettevõtte Turbas.

Maksumus (hind)

Õige põgusalt ka ökonomikast, mille nimel õieti tasub pingutada. Algul oli juttu, et puit on taastav loodusmaterjal ja tema kulutamisel ei ole meil nii suurt muret kui taastamatute loodusvarade puhul, et ta on vähe valmistamiseener-

Kogu territooriumist metsaga kaetud (metsamaa) 49,7%.

Ustu	nn r ,	Ustut t v r thum,
M mku	3,3	35,
Kuus ku	1,5	1,
K s ku	3,7	2,5
H	5,	
H II I	7,7	
S r I	2,	
K kmu	1,5	
Ustut t v r	1, mln tn	
	, r n tn	
Juur k sv	11,5 mln tn	

- sillad, sh kiirtee sillad (fotod 8, 9, 10, 11);
- tornid, mastid.

Suurte pingutustega on suudetud ka Eestis midagi ära teha. Näiteks võib tuua Kalevi kergejõustikumaneži, Tartu laululava, Estonia teatri katusealused saalid (foto 6), Kilingi-Nõmme laululava katuse (foto 12), üle paarikümne puitkoorikkatuse ja veel üsna mitmeid lihtsamaid ehitisi, nagu koolisaalide liimpuidust

giat sisaldav materjal, eriti ümarpuit jne. Kuid kuidas see lõpuks avaldub hinnas?

Puidu laiemat kasutamist takistavad asjaolud Eestis

- Vanad sõjajärgsed arusaamad, psühholoogiline barjäär (kaunisse loodusse ehitatakse vaateplatvorm raudbetoonist või terasest, põhjendades, et puit põleb ja ei kannata niiskust jne. Samas tekivad raudbetoonil niiskusest ja karboniseerumisest aastakümne või -kümnete järel roostekahjustused, mida on raske kõrvaldada).
- Oskuste puudumine.
- Uute standardite ja nende nõuetele vastava tehnoloogia

M t r i	E s t s k r	n / t m	S m s u r t / t m
m r j t
s m t r l	1 ...3	...	1 ...25
l r u t	...	12	1 ...
k r	kun 17	...	kun /
V n r	37 ...5
l r s	55
K n s t r u k t s	25	3	...

gia puudumine, mistõttu eksporditakse arutult toormaterjali.

- Standardite nõuetele vastava sorteerimise (tugevusklassid jne) ja osaliselt ka selle võimaluse puudumine.
- Sellel alal Eesti poliitikute, ärimeeste, aga ka arhitektide ja inseneride tulevikku vaatavatest suundumustest (arengusuundadest) arusaamise ja uute ning atraktiiv-

sete lahenduste realiseerimise tahte puudumine.

Kokkuvõte

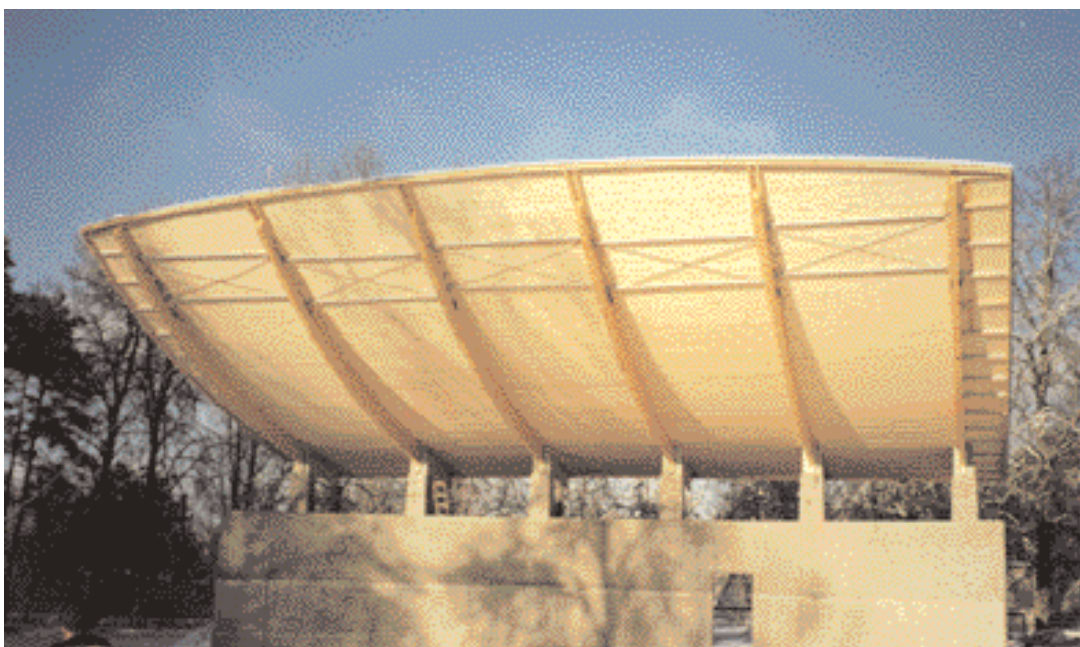
Viimastel aastakümnetel on puidu ja puitkonstruktsioonide uurimise, arendustöö, projekteerimise ja ehitamise alal paljudes maailma riikides saavutatud olulist edu. Sellest hoolimata tuleb meil puidust ehitamist veel palju õppida, tuletada meelde sellealaseid tarkusi eelmistest sajanditest. Igal juhul peab selle kohaliku, taastuva ja ökoloogilise loodusematerjali kasutamine oluliselt suurenema. Lõpuks tuleb ka üle saada viimase poole sajandi jooksul tekkinud valearusaamadest puidu kui ehitusmaterjali vastupidavusest ja tulepüsivusest.

KARL ÕIGER, TALLINNA
TEHNIKAÜLIKOOLI
EHITUSTEADUSKONNA DEKAAN

Lihne poltliide. (11)



Kilingi-Nõmme laululava katus. (12)



Kirjandust:

1. Puitkonstruktsioonid, osa 1.1, Üldised juhendid ja hoonete juhendid, EPN-ENV 5.1, Eesti Ehitusteave väljaanne, märts 1996
2. Puitkonstruktsioonid, osa 2, Puitsillad, EPN-ENV 5.2, Eesti Ehitusteave väljaanne, juuni 1998
3. Puitkonstruktsioonid, osa 1.2 Tulepüsivus, EPN-ENV 5.1.2
4. Puitkonstruktsioonid. Puitkonstruktsioonide arvutusnäited. Abimaterjal EPN 5.1.1 kasutajale EPN 5/AM-1

Ilmumas on:

5. Lamell-liimpuit. Teostusnõuded ning minimaalsed tootmisnõuded, prEN 386
6. Ehituspuit. Mehaaniliste omaduste ja tiheduse normväärtuste määramine, EN 384
7. Puitkonstruktsioonid. Ehituspuit ja liimpuit. Mõnede füüsikaliste ja mehaaniliste omaduste määramine, EN 408

Muud literatuuri:

8. 5th World Conference on Timber Engineering, Proceedings, Volume 1 (pages 881) and 2 (869 pages), August 17-20, 1998, Montreaux, Switzerland
9. Pacific Timber Engineering Conference, Proceedings, Volume 1 (321 pages), Volume 2 (374 p), Volume 3 (492 p.), 14-18 March, 1999 Rotorua, New Zealand
10. IABSE Conference on Innovative Wooden Structures and Bridges, Proc. (pages 614), Lahti, Aug. 29-31, 2001, Finland
11. J. Natterer, T. Herzog, M. Volz, Holzbau Atlas Zwei, zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage 1996
12. W.M.C. McKenzie, Design of Structural Timber, MACMILLAN PRESS LTD, Hundmills, Basingstoke, Hampshire RG21 6XS and London, 2000
13. E. Saarman, Puiduteadus, küljendus ja trükk OÜ Vali Press, 1998
14. Michael A. Ritter, Timber Bridges, Design, Construction, Inspection and Maintenance, United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990