

UDK:630*811.115

Pregledni znanstveni članek (*Review Scientific Paper*)

Točka nasičenja celičnih sten (TNCS) - pregled

Fiber saturation point (FSP)- A review

Niko Torelli *

Povzetek

Botanično je les zelo variabilen heterogen tkivni kompleks, fizikalno pa heterokapilarni sistem iz lumnov, pikenj, odprtih v pikenjskih membranah in prostorov v (suhi) celični steni. Teoretično je točka nasičenja celičnih sten (TNCS, U_f) definirana kot lesna vlažnost, pri kateri so celične stene nasičene, medtem ko v lumnih in piknjah ni proste (kapilarne) vode. Nemogoče je jasno ločiti obe vrsti vode. Zelo verjetno vezana in prosta voda soobstajata v relativno širokem vlažnostnem območju. Praktično je smiselno interpretirati TNCS kot vlažnost U , ki ustreza spremembi naklona $\delta P/\delta U$, kjer je P poljubna fizikalna lastnost. Opisane in diskutirane so različne eksperimentalne metode določanja TNCS.

Ključne besede: točka nasičenja celičnih sten, določitev

Abstract

Botanically wood is highly variable heterogeneous tissue complex. Physically it can be treated as heterocapillary system consisting of lumens, interconnecting pits, pit openings and "microvoids" in the (dry) cell walls. Theoretically fiber saturation point (FSP, M_f) is defined as the moisture content at which the cell walls are saturated with no free water in the lumens and pits. It is impossible to clearly differentiate these two kinds of water. Very probable bound and free water coexist over a relatively wide range of moisture content. For practical purposes it is reasonable to interpret the FSP as moisture content M corresponding to a change in slope of a $\delta P/\delta M$ relationship where P is any physical property. Various methods of experimental determination of the FSP are described and discussed.

Key words: fiber saturation point (FSP), determination

Točka nasičenja celičnih sten (TNCS, U_f) (angl. fibre/fiber saturation point, FSP; nem. Fasersättigungspunkt, FSP) je eden najpomembnejših pojmov v lesarski znanosti.

Prvi jo je definiral Tiemann (1906, str. 82), ko je preučeval odvisnost mehanskih lastnosti od vlažnosti. Ugotovil je, da v procesu sušenja mehanske lastnosti sprva ostajajo konstantne (in minimalne), pri določeni vlažnosti pa začno naraščati. Prelomno vlažnost je imenoval točko nasičenja celičnih vlaken (FSP, U_f). 1944 jo je Tiemann ponovno definiral, tokrat kot vlažnost, pri kateri so (teoretično) celične stene nasičene z vezano ali higroskopsko vodo in pri kateri diferencialna sorpcijska toplota doseže vrednost 0. Teoretično pri TNCS v lumnih ni proste ali kapilarne vode. Les je heterokapilarni tkivni kompleks iz lumnov, pikenj, od-

prtih v pikenjskih membranah in praznih prostorov v (suhih) celičnih stenah.

Zato poleg monomolekularne in polimolekularne adsorpcije pri višjih relativnih vlažnostih nastopi še kapilarna kondenzacija (kot jo izraža Kelvinova enačba, ki povezuje kondenzacijo vodne pare, relativni parni tlak in polmer kapilar, cf. Wangaard in Grana-dos, 1967).

Obseg kapilarne kondenzacije je omejen, saj je praznih prostorov v suhi celični steni le med 4 in 5 % (Weatherwax in Tarkow, 1968, cf. tudi Kellog in Wangaard 1969). Do kapilarne kondenzacije utegne priti tudi v ožehih se koncih lumnov v vlaknih.

Tehnika določitve praznih prostorov v celični steni je zelo zanimiva. Weatherwax in Tarkow (1968) sta jih dokazala in določila v postopku določitve specifičnega volumna (v') in gostote celične stene (ρ') z izpodrivanjem z različnimi tekočinami. Pri tem sta izra-

čunala tudi zgostitev vezane vode v celični steni. Izpodrivanje celične stene sta izvedla z vodo in nepolarnimi topili ter helijem. Najprej sta izmerila specifični volumen suhe celične stene z izpodrivanjem z nepolarnim silikonskim oljem in toluenom: $v' = 0,6825 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Tako dobljeni specifični volumen vključuje mikroprostore v celični steni. Specifični volumen, dobljen z izpodrivanjem z vodo je bil $0,6470 \times 10^{-3} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Razlika 0,0355 naj bi bila posledica (1) adsorpcijske kompresije (kompaktacije) vode in (2) prisotnosti mikroprostorov in v katero je penetrirala voda ne pa tudi nenabrekovalno silikonsko olje oz. toluen.

Da bi izmerila volumen prostorov v celični steni, sta Weatherwax in Tarkow najprej nabrekli lesene sekcije z vodo. Vodo sta nato zamenjala z etanolom, ki je topen tako v vodi kot tudi v heksanu, pa tudi les nabreka podobno kot voda. Nato sta etanol zamenjala z nenabrekovalnim nepolarnim

* prof. dr. dr. h. c., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

Preglednica 1. Sitka (*Picea sitchensis* Carr.): (aparentna) gostota suhe celične stene (ρ'_0), specifični volumen (v'_0) in zmanjšanje specifičnega volumna glede na vrednost, dobljeno z izpodrivanjem s silikonskim oljem (Weatherwax & Tarkow, 1968)

Izpodriveni medij	(Aparentna) gostota ρ'_0 (kg/m ³)	Specifični volumen v'_0 (m ³ /kg)	(Aparentno) zmanjšanje v'_0 glede na vrednost, dobljeno z izpodrivanjem s silikonskim oljem	Deležno zmanjšanje v'_0 glede na vrednost, dobljeno s silikonskim oljem
Voda	1545,7	0,6470 x 10 ⁻³	0,0355 x 10 ⁻³	(0,0355/0,6825) = 0,0520
Heksan*	1533,3	0,6522 x 10 ⁻³	0,0303 x 10 ⁻³	(0,0303/0,6825) = 0,0444
Silikonsko olje	1465,0	0,6825 x 10 ⁻³	0,0000	-

* Vrednost, dobljena po nabrekanju z vodo in njeni zamenjavi z etanolom in heksanom, ki je tako prodiral v celično steno.

heksanom. Tako je nepolarni heksan zapolnil mikroprostore v nabrekli lesu. S posrednim izpodrivanjem s heksanom izmerjeni specifični volumen je bil 0,6522 x 10⁻³ m³kg⁻¹, kar je za 0,0303 manj od specifičnega volumna, dobljenega z izpodrivanjem s silikonskim oljem (preglednica 1).

Interpretacija rezultatov je naslednja (preglednica 1): od razlike med specifičnima volumnoma dobljenima z izpodrivanjem z vodo in silikonskim oljem (0,0355 x 10⁻³ m³kg⁻¹) odpade 0,0303 x 10⁻³ m³kg⁻¹ na mikroprostore in 0,0052 x 10⁻³ m³kg⁻¹ na zgostitev vode. oz. 0,0303/0,0355 x 100 % = 85,3 % na mikroprostore in 0,0052/0,0355 x 100 % = 14,6 % na zgostitev vode. V suhi celični steni je 0,0303/0,6470 x 100 % = 4,6 % praznih prostorov.

Točko nasičenja celičnih sten je še najlažje definirati kot izrazito spremembo v naklonu $\delta P/\delta U$, kjer je P vrednost za poljubno merljivo fizikalno lastnost (ali njen logaritem) in U (odstotna) vlažnost (Siau 1995, str. 83, Dinwoodie 1994, str. 433).

Fizikalne lastnosti se ne spremenijo skokovito pri določeni vlažnosti, zato je izraz "točka nasičenja celičnih sten oz. vlaken" nekoliko problematičen. "Točko" bi bilo treba spremeniti v "območje", "vlakno" pa v "celično steno" (kot sem sam predlagal pred 25 leti), torej: "območje nasičenja celičnih sten" (prim. Babiak & Kúdela, 1995).

Ob TNCS ima les (že) svoje maksimalne dimenzije. TNCS bi lahko defi-

nirali tudi kot najnižjo vlažnost, pri kateri ima les maksimalne dimenzije. Nadaljnje vlaženje gre na rovaš proste vode in obratno: v procesu sušenja lesa se začne les krčiti, ko pade vlažnost pod TNCS. Le tako je mogoče razumeti "muhasta" zvezo med lesno vlažnostjo U (%), gostoto (in relativno gostoto ("specific gravity") d (prim. Torelli 1998) (slika 1).

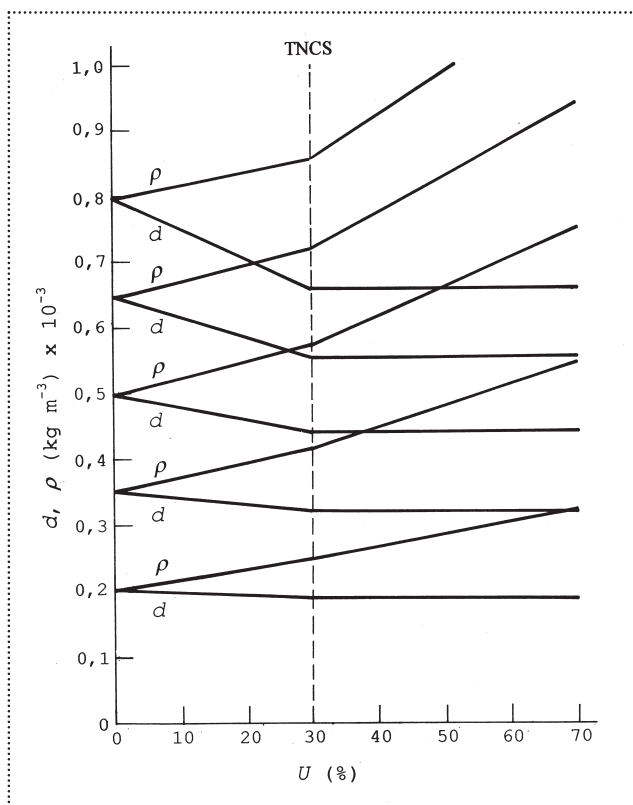
V literaturi je kar nekaj pregledov metod določanja TNCS: Stamm (1964, 1971) navaja 6 oz. 9 metod, medtem ko jih danes poznamo že 12 (prim. Skaar, 1988, Siau 1995, Babiak & Kudela 1995). Vrednosti TNCS se med vrstami razlikujejo, prav tako med beljavo in jedrovino iste vrste. TNCS je - tako kot gostota - zelo variabilna, saj je odvisna od lokalne anatomske in kemične zgradbe. Prav tako so dobljene vrednosti precej odvisne od metode določanja. Omenimo najvažnejše eksperimentalne metode.

1) Najrazumljivejša je metoda, pri kateri se volumenski ali linear-

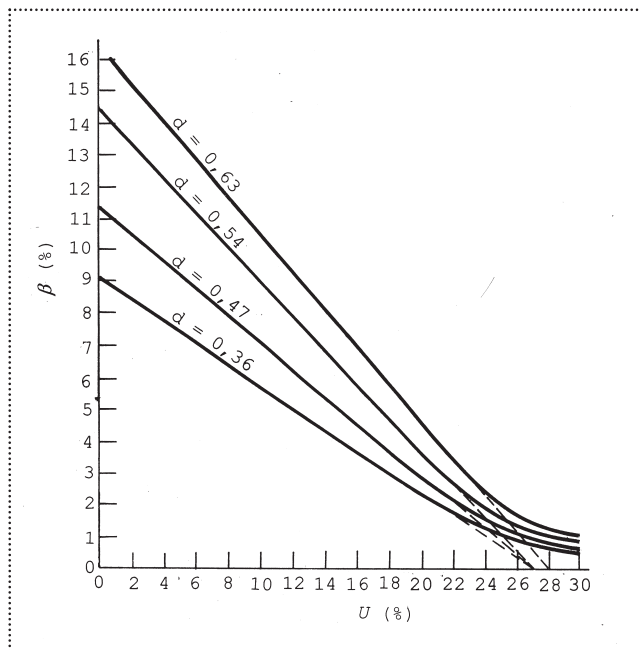
ni skrčki ekstrapolirajo do vrednosti 0 (slika 2).

2) Določitev (aparentne) kompresije adsorbirane vode z meritvijo gostote vlažne celične stene z imerzijo v benzenu in ekstrapolacijo do vlažnosti, kjer ni zgostitve in ki ustreza TNCS (slika 3).

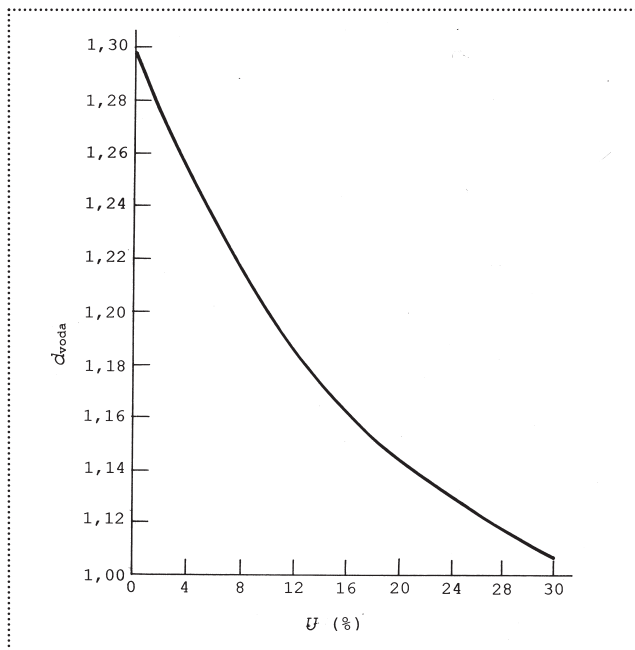
3) Meritev vlažilne toplote W ali sorpcijske toplote Q_L . Metoda temelji na predpostavki, da les z vlažnostjo pod TNCS pri sprejemanju vode razvija toploto. Vlažilna toplota W je definirana kot toplota (kJ), ki se sprosti, ko se 1 kg (suha masa) drobno zmlatega lesa, kondicioniranega do enakomerne vlažnosti, ovlaži v prebitku vode do vlažnosti, ki je večja od TNCS. Za razliko od vlažilne toplote W, je diferencialna sorpcijska toplota tekoče vode za les Q_L definirana kot energija (kJ), ki se sprosti, ko les z zadosti veliko maso sprejme 1 kg vode, pri čemer ostane vlažnost lesa nespremenjena. Omenimo, da je lažje meriti W eksperimentalno s kalorimetrično metodo kot pa Q_L z izostersko metodo (Skaar 1989, str.146).



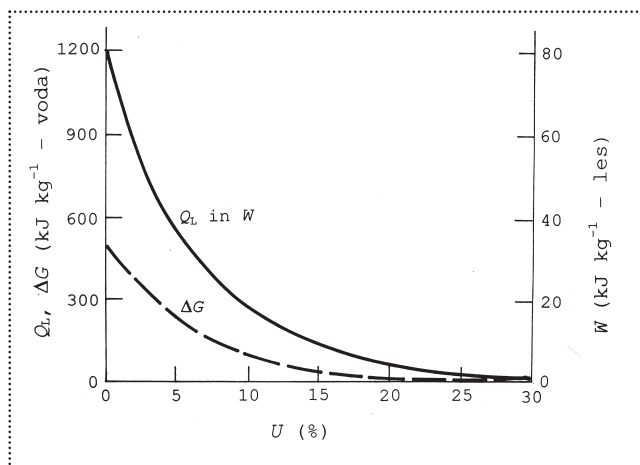
Slika 1. Zveza med lesno vlažnostjo, gostoto in relativno gostoto lesa (risba po Siau 1995)



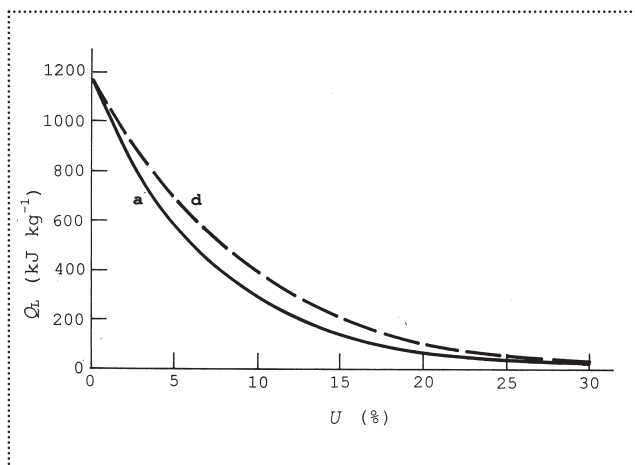
Slika 2. *Pinus taeda*: zveza med volumenskim skrčkom in lesno vlažnostjo z ekstrapolacijo do kritične intersekcijske točke, ki pomeni oceno točke nasičenja celičnih sten (risba po Stammu 1964)



Slika 3. Relativna gostota adsorbirane vode kot funkcija lesne vlažnosti (risba po Stammu in Seborgu 1934 iz Mac Leana 1952)



Slika 4. Odvisnost diferencialne sorpcijske toplote, vlažilne toplote in spremembe proste energije od lesne vlažnosti (risba po Skaaruu 1989)



Slika 5. Diferencialna sorpcijska toplota kot funkcija lesne vlažnosti. Višje vrednosti za desorpcijo (d) so posledica histereze (risba po Kamkeju iz Siaua 1995)

Količina oddane toplote se z naraščajočo lesno vlažnostjo v higroskopskem območju znižuje in doseže ob TNCS vrednost 0 (sliki 4 in 5). Po Kajiti (1976 iz Skaara 1988, str. 39) je celotna vlažilna toplota, t.j. od absolutne suhosti do TNCS, W_0 , v linearni zvezi s TNCS.

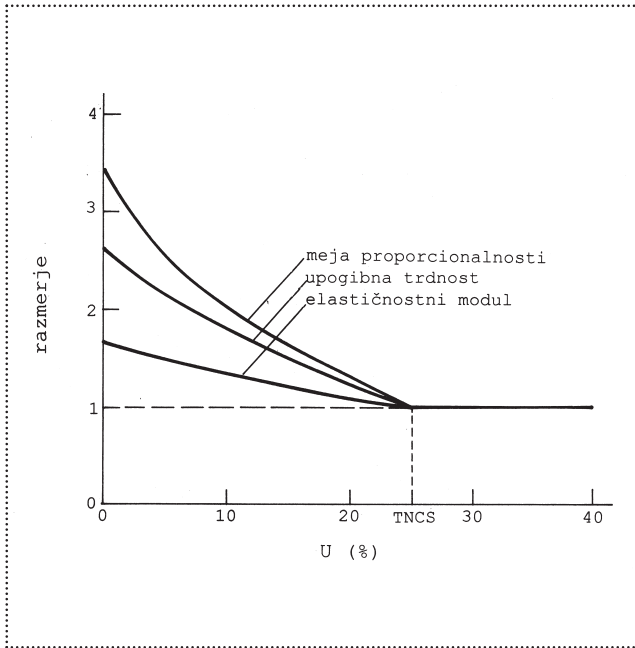
4) Zveza med mehansko trdnostjo in lesno vlažnostjo. Teoretično je les najbolj trden v absolutno suhem stanju. Tedaj so stenske sestavine bočno trdno povezane z vodikovo vezjo. Z vlaženjem se vodne molekule vrivajo v

stensko strukturo in razklepajo vezi. Na enoto volumna je vse manj substance in trdnost pada. Še več, vodne molekule delujejo kot mazivo, zato se intenzivira lezenje in relaksacija. Ob TNCS les doseže minimalne vrednosti za posamezne trdnostne lastnosti in elastični modul. Za "mehansko" določanje TNCS je zlasti primerna tlačna trdnost, ki je od vseh trdnostnih lastnosti najbolj odvisna od vlažnosti (sliki 6 in 7).

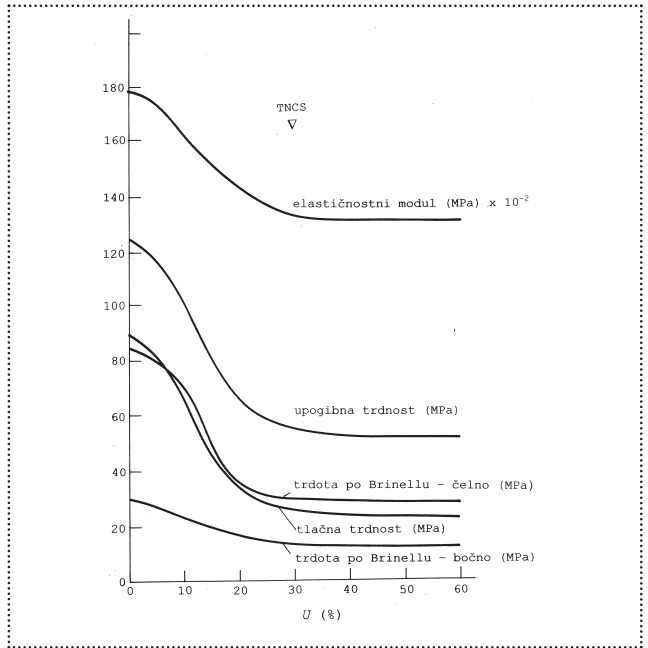
5) Zveza med specifično električno upornostjo ali prevodnostjo in lesno

vlažnostjo. Na tej zvezi temelji splošno razširjen upornostni vlagomer za les (sliki 8 in 9).

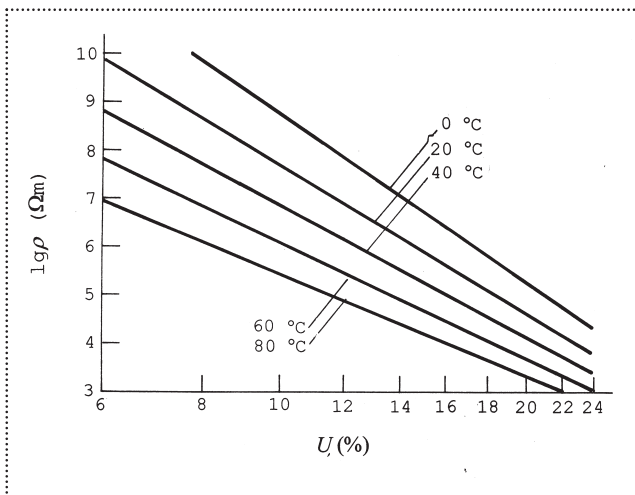
6) Ekstrapolacija sorpcijske izoterme. Metoda temelji na (napačni) predpostavki, da pri relativni vlažnosti, manjši od $H = 100\%$ ne pride do kondenzacije vode v lumnih. Stamm (1964) je spoznal, da se TNCS ne da definirati kot ravnovesne vlažnosti pri 100% relativni vlažnosti (kar se rado poenostavlja!), saj bi takšno ravnovesje imelo za posledico popolno nasičenje lesa! Kapilare (nekoliko) znižujejo par-



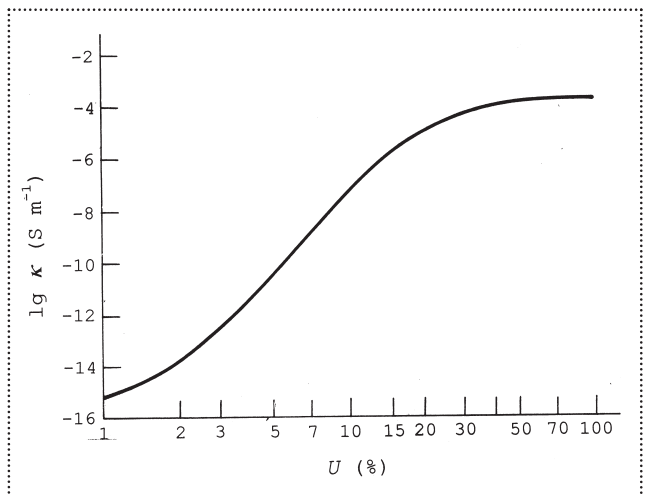
Slika 6. Načelna slika prikazuje odvisnost mehanskih lastnosti od vlažnosti pri poljubni vlažnosti nad TNCS in vrednosti pri TNCS (risba po Skaar 1988)



Slika 7. *Pinus sylvestris*: odvisnost mehanskih lastnosti od vlažnosti (risba po Kollmannu 1951)



Slika 8. Logaritem specifične električne upornosti kot funkcija lesne vlažnosti (risba po Skaar 1972 iz Siaua 1995)



Slika 9. Specifična električna prevodnost lesa kot funkcija lesne vlažnosti pri sobni temperaturi (risba po Jamesu 1989)

ni tlak, zato lahko po tej metodi TNCS določimo le z ekstrapolacijo (prim. na pr. Kollmann 1968, str. 198). Kelvinova enačba

$$\ln(1/h) = 36 \gamma / (rRTp_v),$$

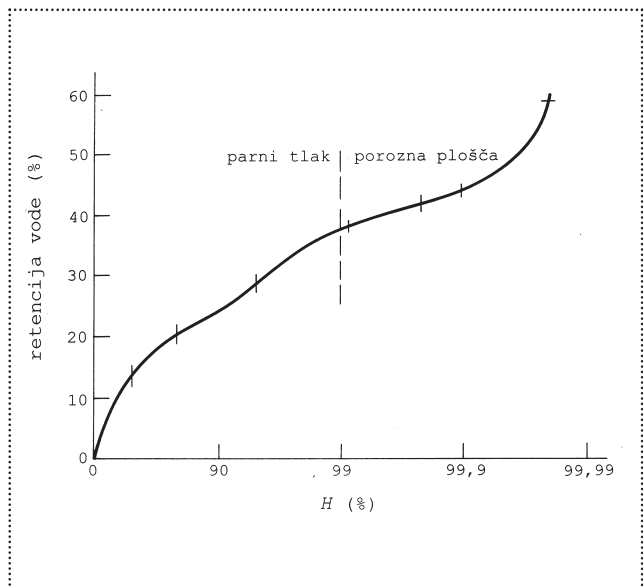
kjer je γ površinska napetost in r kapilarni polmer, napoveduje, da se voda lahko kondenzira v ozkih kapilarah pod relativno vlažnostjo $H = 100\%$. Zveza se v poenostavljeni obliki glasi (Skaar 1988, str. 36):

$$H / 100 = h \approx 1,0 - 0,0011 / r,$$

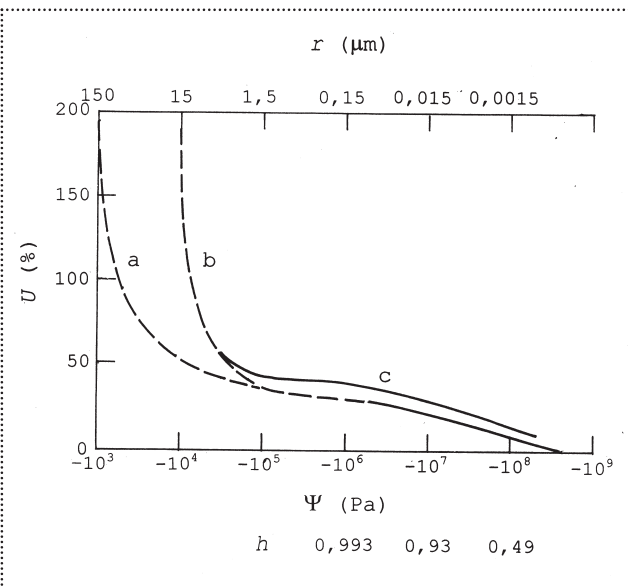
kjer je r kapilarni pomen v mikrometrih (μm).

Enačba velja za polmere $r = 0,1 \mu\text{m}$ in večje. Relativne vlažnosti H , ki so v ravnovesju s kapilarnimi polmeri $100 \mu\text{m}$, $10 \mu\text{m}$, $1 \mu\text{m}$ in $0,1 \mu\text{m}$ so (po vrsti) pri sobni temperaturi $99,999\%$, $99,99\%$, $99,9\%$ in $99,0\%$ (prim. preglednico 2). V ožehih se šiljastih lumnih vlaken lahko voda kondenzira pri relativni vlažnosti $H = 99\%$. Prisotnost vodotopnih snovi v

lumnih prav tako lahko omogoči kondenzacijo pri nižjih relativnih vlažnostih. Tako lahko parenhimske celice zadržujejo vodo pri nižjih relativnih vlažnostih kot vlakna (Hart 1984). Problematiko določanja točke nasičenja celičnih sten po tej metodi obravnavajo npr. Stamm (1971) ter Wangaard in Granados (1967). Pri tem ne gre le za možnost kapilarne kondenzacije, temveč tudi za točnost produciranja visokih relativnih vlažnosti. Kaže, da se vezana in prosta voda "prekrivata" oz. koeksistira (Hernandez & Bizon 1994).



Slika 10. *Picea mariana*: Sorpcijska izoterma, dobljena s standardno metodo parne sorpcije in s tehniko porozne plošče nad $H = 99\%$ (risba po Stoneu in Scallanu 1967)



Slika 11. Idealizirane vlažnostne značilnosti lesa: (a) listavec z velikimi trahejami v kasnem lesu, $r = 150\ \mu\text{m}$, (b) iglavec s trahejami z polmerom $15\ \mu\text{m}$; (c) *Picea mariana* (Griffin 1977). Del krivulj a in b pod $-2,5 \times 10^5\ \text{Pa}$ po podatkih iz Wood Handbook (USDA 1955) (risba po Siau 1995)

7) Z metodo porozne tlačne plošče (Robertson 1965, Cloutier in Fortin 1991) je mogoče zanesljivo nadzorovati visoke relativne vlažnosti. Na tem mestu lahko poudarimo pomen vodnega potenciala, ki ga lahko uporabimo kot neodvisno spremenljivko pri sorpcijskih izotermah. Kot kaže enačba (glej na pr. Siau 1995, str. 74), je vodni potencial funkcija parcialnega tlaka:

$$\Psi = \rho_v RT \ln h/0,018 .$$

Tako lahko eksperimentalno obvladamo kritično območje relativnih vlažnosti nad $H = 99\%$.

Metodo tlačne plošče sta uporabila Stone in Scallan (1967) pri lesu *Picea mariana* (slika 10). $100\ \mu\text{m}$ debele mokre rezine velikosti $2 \times 2\ \text{cm}$ sta položila na porozno ploščo, nato pa s pozitivnim plinskim tlakom iztisnila vodo iz vseh kapilar, katerih radij je bil večji od tistega, ki je ustrezal uporabljenemu tlaku. Ko se je vzpostavilo ravnovesje, sta izmerila lesno vlažnost, kot ustreza relativni vlažnosti, izračunani po gornji enačbi. Tako sta izračunala štiri točke na sorpcijski izotermi pri relativnih vlažnostih nad 99% .

Stone in Scallan sta predpostavila, da infleksijska točka pri $H = 99,75\%$ ($\Psi = -3,6 \times 10^5\ \text{Pa}$ in $r = 0,4\ \mu\text{m}$)

pomeni ločnico med velikimi kapilarami s prosto vodo in manjšimi, ki naj bi vsebovale higroskopsko ("vezano") vodo (preglednica 2). Dobljena vrednost za TNCS je bila 40% .

Griffin (1977, slika 11) je prav tako uporabil tlačno ploščo v približno enakem območju, kot sta jo Stone in Scallan. Tedaj je bila TNCS pri $-1\ \text{atm}$ ($\approx -10^5\ \text{Pa}$), kar ustreza višji relativni zračni vlažnosti $H = 99,93\%$, večjem polmeru $r = 1,5\ \mu\text{m}$ in višji TNCS 43% .

8) Stone in Scallan (1967) sta rezultat

Preglednica 2. Zveza med vodnim potencialom, relativno zračno vlažnostjo in kapilarnim polmerom v lesu pri $T = 300\ \text{K}$ (Siau 1995)

Ψ (Pa)	H (%)	r (μm)
-10^3	99,9993	150
-10^4	99,993	15
-10^5	99,93	1,5
-10^6	99,28	0,15
-10^7	93,03	0,015
-10^8	48,58	
-2×10^8	23,60	
-5×10^8	2,70	

s tlačno ploščo potrdila še z metodo z dekstranom-110. Nasičeni mikrotomirani sekciji lesa ali vlaknini sta dodala razredčeno raztopino dekstrana-110 znane koncentracije. Dekstranove molekule so prevelike, da bi prešle v celično steno. Prosta voda v lesu ali vlaknini zato razredči raztopino. Po vzpostavitvi ravnovesja sta določila končno koncentracijo dekstranove raztopine in iz razlike med končno in prvotno koncentracijo določila količino odstranjene proste vode. Če odstranjeno prosto vodo odštejemo od začetne vlažnosti lesa ali vlaknine, dobimo TNCS. Po tej metodi sta dobila za TNCS vrednost 42% , kar je skoraj toliko kot z metodo tlačne plošče.

9) Perem (1954) je centrifugalni vzorci beljave vrst in *Picea glauca* in *Pinus resinosa*. Pri slednji vrsti je s centrifugalno silo $11\ \text{atm}$ (3 h), $13\ \text{atm}$ (3 h) in $13\ \text{atm}$ (5 h) pri sobni temperaturi dosegel (preostale, "rezidualne") vlažnosti $31,6\%$, $31,3\%$ in 31% , ki jih je interpretiral kot TNCS. Navedene centrifugalne sile so zadostovale za odstranitev proste vode iz lumnov in pikenj, ne pa tudi za odstranitev vode iz celičnih sten. Seveda pa je metoda s centrifugiranjem primerna le za razmeroma permeabilne lesove, saj pri manj permeabilnih lesovih voda le težka prehaja iz celice v celico. To še

posebej velja za jedrovino, kjer se lahko permeabilnost lesnega tkiva oz. pikenjskih membran kritično zmanjša. Podoben pomislek velja tudi za metodo s porozno tlačno ploščo (prim. Skaar 1988, str. 38).

10) Feist in Tarkow (1967) sta izmerila TNCS z metodo izključitve polimera. Z metodo je mogoče ločiti vezano vodo v celični steni od proste vode v lumnih in piknjah. Avorja sta uporabila vodotopni polimer polietilenglikol (PEG) z molekulsko maso 9000. Molekule PEG 9000 so tako velike, da ne morejo prodreti v celično steno, pač pa v lumne in piknje. Ko sta potopila les v raztopino PEG sta predpostavila, da je koncentracija PEG v lumnih in piknjah enaka kot zunaj njih. TNCS sta izračunala takole:

- Potem, ko se je vzpostavilo ravnotežje, sta z interferometrijo določila koncentracijo PEG v zunanji raztopini.
- Odstranila sta les iz raztopine PEG in ga stehtala.
- Z vodo sta odstranila PEG iz lesa in izmerila vsebnost PEG z interferometrijo.
- Les brez PEG sta sušila v sušilniku in ga stehtala.

Če poznamo količino PEG ekstrahirane iz lesa in ob predpostavki, da je bila koncentracija PEG v lumnih enaka kot v zunanji raztopini, potem se da izračunati količino vode v lumnih.

Preglednica 3. Točka nasičenja celičnih sten domačih drevesnih/lesnih vrst

TNCS (%)	Drevesna/lesna vrsta
32 - 35	Difuzno porozni listavci brez jedrovine (lipa, vrba, topol, jelša, bukev, beli gaber) in beljava veččastopornih in polveščastopornih listavcev s črnjavo (robinija, pravi kostanj, hrasti, oreh in češnja).
30 - 34	Iglavci brez črnjave (jelka, smreka) in beljava iglavcev s črnjavo (bori, macesen).
26 - 28	Iglavci s črnjavo z zmerno vsebnostjo smole (rdeči bor, macesen, duglazija).
22 - 24	Iglavci s črnjavo in visoko vsebnostjo smole.
22 - 24	Veščastoporni in polveščastoporni listavci s črnjavo (robinija, pravi kostanj, hrasti, jesen?, oreh in češnja).

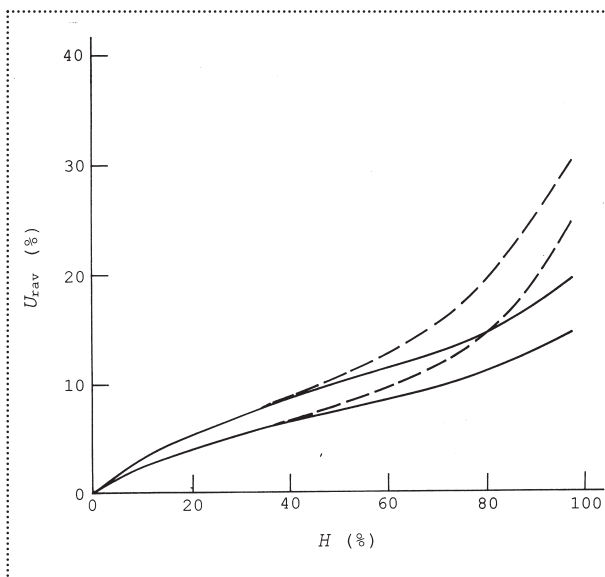
Količina vode v celičnih stenah je enaka razliki med količino vode v lesu in količino vode v lumnih.

TNCS je za prvič sušen les iglavcev z osnovno gostoto nad 300 kg/m^3 po tej metodi znašala med 35 in 40 %. Za lesove, ki so bili pred tem sušeni in ponovno navlaženi, je bila TNCS nekoliko nižja. Razlika je utegnila biti posledica nastanka učinkovitih vodikovih vezi v amorfnih regijah pri prvem sušenju. Za balzo (*Ochroma lagopus*) je znašala TNCS 52 %. Menila sta, da s padanjem relativne gostote trdnost celične stene pada, ki se zato manj upira nabrekanju.

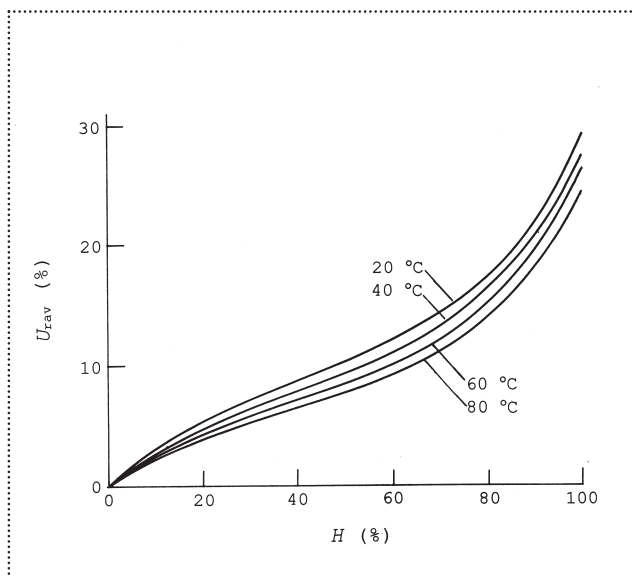
Sicer pa je točka nasičenja celičnih sten odvisna od številnih dejavnikov, med drugim od anatomske in kemične zgradbe. Trendelenburg (1939) navaja TNCS za posamezne kategorije domačih lesov (preglednica 3).

Iz preglednice 3 se vidi, da ojedritveni proces znižuje TNCS in ravnovesno vlažnost. To sta zelo nazorno dokazala Wangaard in Granados (1967) s sorpcijskimi meritvami na ekstrahiranih in neekstrahiranih črnjavah tropskih lesov z visoko vsebnostjo ekstraktivov (2,88 - 17,05 % glede na maso v sušilnično suhem stanju). Na splošno ekstraktivi znižujejo ravnovesno vlažnost oz. "potiskajo" adsorpcijske in desorpcijske izoterme navzdol v območju relativne vlažnosti nad približno 70 %. Nizkomolekulske jedrovinske snovi, ki v procesu ojedritve inkrustirajo celično steno, "zasedejo" prostor higroskopski vodi. Na sliki 12 je prikazan učinek jedrovinskih snovi na ravnovesno vlažnost in TNCS pred ekstrakcijo in po njej za črnjavo more.

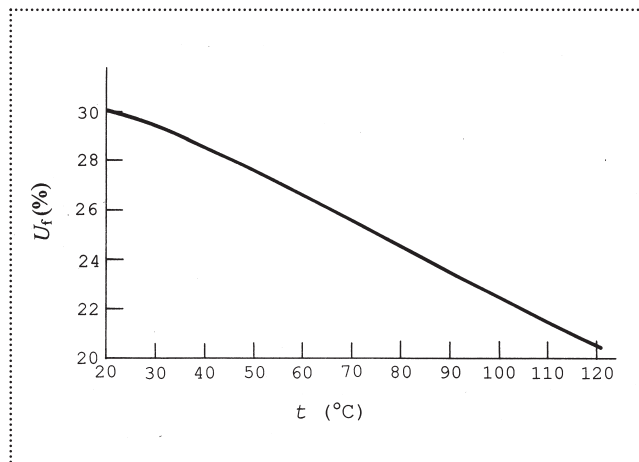
Ravnovesna vlažnost in TNCS padajo tudi z naraščajočo temperaturo. To je treba upoštevati pri izračunu difuzijskih koeficientov in sušilnega časa.



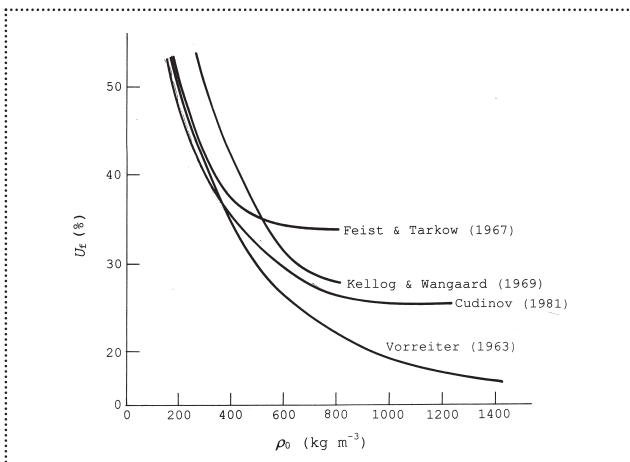
Slika 12. *Mora amarilla*: adsorpcijski in desorpcijski izoterme pred ekstrakcijo (polna črta) in po njej (črtkana), risba po Wangaardu in Granadosu 1967)



Slika 13. Učinek temperature na tipične vlažnostne izoterme za les (risba po Skaaru 1989)



Slika 14. Zniževanje TNCS s temperaturo (risba po Stammu in Nelsonu 1961 iz Siaua 1995)



Slika 15. Točka nasičenja celičnih sten kot funkcija lesne gostote po več avtorjih (risba po Skaaru 1988)

Slika 13 prikazuje vpliv temperature na sorpcijske izoterme, slika 14 pa odvisnost TNCS od temperature.

Na velikost TNCS vpliva tudi lesna gostota (slika 15). Načelno je višja pri lesovih z nižjo gostoto. Feist in Tarkow (1967) menita, da utegnejo celice s tanjšimi stenami nuditi manjši odpor nabrekanju kot tiste z debelimi stenami. Nižje vrednosti TNCS pri gostejših lesovih utegnejo biti tudi posledica večje vsebnosti ekstraktivov (kar pogosto drži) itd.

Preučevanje TNCS in njena določitev ostaneta "večna" izziva za lesarsko znanost.

Literatura

- Babiak, M. & J. Kudela 1995. A contribution to the definition of the fiber saturation point. *Wood Science & Technology* 29:217-226.
- Cloutier, A in Y. Fortin 1991. Moisture content-water potential relationship of wood from saturated to dry conditions. *Wood Science & Technology* 27:95-114.
- Dinwoodie, J.M. 1994. *Timber V: J.M. (izd.), Construction materials: 407-508.* E&FN Spon/Chapman & Hall, London.
- Feist, W.C. in H. Tarkow 1967. Polymer exclusion in wood substance: A new procedure for measuring fiber saturation points. *Forest Product Journal* 17(10): 65-68.
- Griffin, D.M. 1977. Water potential and wood-decay fungi. *Ann. Rev. Phytopathology* 15:319-329.
- Hart, C. A. 1984. Relative humidity, EMC, an collapse shrinkage in wood. *Forest Product Journal* 34 (11/12): 45-54.
- Hernandez, R.E. in M. Bizon 1994. Changes in shrinkage and tangential compression strength of sugar maple below an above the fiber saturation point. *Wood and Fiber Science* 26(3):360-369.
- James, W. L. 1989, *Electrical properties.* V: A.P. Schniewind (izd.), *Concise encyclopedia of wood & wood based materials: 99-102.* Pergamon Press, Oxford, itd.
- Kellog, R. M. in F. F. Wangaards 1969. Variation in the cell-wall density of wood. *Wood and Fiber* 1:180-204.
- Kollmann, F. 1951. *Technologie des Holzes.* 1. del, 2. izd.. Springer Verlag, Berlin.
- MacLean, J.D. 1952. Preservative treatments of wood by pressure methods. *Agriculture Handbook* št. 40, USDA.
- Perem, E. 1954. Determination of the fiber saturation point of wood by centrifuging. *Forest Product Journal* 4(4):77-81.
- Robertson, A. A. 1965. Investigation of the cellulose water relationship by the pressure plate method. *Tappi* 48:568-573.
- Siau, J. F. 1995. *Wood: influence of moisture on physical properties.* Department of Wood Science and Forestry Products, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Skaar, C. 1972. *Water in wood-* Syracuse University Press, Syracuse, New York.
- Skaar, C. 1988. *Wood-water relations.* Springer Verlag, Berlin, itd.
- Skaar, C. 1989. Hygroscopicity and water sorption. V: A. P. Schniewind (izd.), *Concise encyclopedia of wood & wood-based materials: 143-147.* Pergamon Press, Oxford, itd.
- Stamm, A. J. 1964. *Wood and cellulose science.* Ronald Press, New York.
- Stamm, A. J. 1971. Review of nine methods for determining the fiber saturation points of wood and wood products. *Wood Science* 4:114-128.
- Stone, J. E. & A.M. Scallan 1967. The effect of component removal upon the porous structure of the cell wall in wood II. Swelling in water and the fiber saturation point. *Tappi* 50:496-501.
- Tiemann, H. D. 1906. Effect of moisture upon the strength and stiffness of wood. *USDA Forest Service Bulletin* 70.
- Tiemann, H. D. 1944. *Wood technology. Constitution, properties and uses.* 2. izd. Pitman, New York.
- Torelli, N. 1998. *Gostota in relativna gostota lesa.* Les, 52-54
- Trendelenburg, R. 1939. *Das Holz als Rohstoff.* J. F. Lehman Verlag, München.
- Wangaard, F.F. in L.A. Granados 1967. The effect of extractives on water-vapor sorption by wood. *Wood Science & Technology* 1:253-277.
- Weatherwax, R. C. in H. Tarkow 1968. Importance of penetration and adsorption compression of the displacement fluid. *Forest Product Journal* 18(7): 44-46.