

# FORS202 – Мод судлал

Модлог ургамлын макро болон микро бүтэц

# Лекцийн агуулга

- Модлогийн макро бүтэц
- Модны механик шинж чанар ба түүний анатомын холбоо
- Модлогийн эдийн эсийн төрөлүүд
- Зөвлөн модлогийн микро бүтэц
- Хатуу модлогийн микро бүтэц
- Модлогт үүсэх өөрчлөлтүүд

# Модны бүтэц

- Макро бүтэц
  - Энгийн нүдэнд харагдах бүтэцүүд
  - Ишний гол, модлогийн зөвлөн шүүс бүхий хэсэг буюу сап, модны жилийн цагираг, модны ширхэглэг, яр
- Микро бүтэц
  - Гэрлийн микроскопын тусламжтайгаар харагдах бүтэцүүд
  - Эсийн хэлбэрүүд, эсийн морфологи

Фибер буюу эс

- Эсийн хана (ультра бүтэц буюу химийн бүтэц)
  - Электрон микроскоопор харагддаг
  - Химиин найрлага
    - Спектроскоп болон химиийн аргаар судлагддаг
- Эдгээр шинжүүд нь дараах мэдээллийг бидэнд өгнө
  - Модны гадна харагдах байдал
  - Шинж чанарууд
  - Онцлог



# Модны макро бүтэц

---

- Холтос, гол, ишний голын хатуурсан хэсэг (heartwood), ишний зөөлөн, шүүс бүхий хэсэг (sapwood)
- Модны жилийн цагираг (өсөлтийн цагираг)
- Өсөлтийн онцлогууд (гэмтэл согог нь модон бүтээгдэхүүн дээр илүү тод ажиглагдана): яр болон ширхэглэг

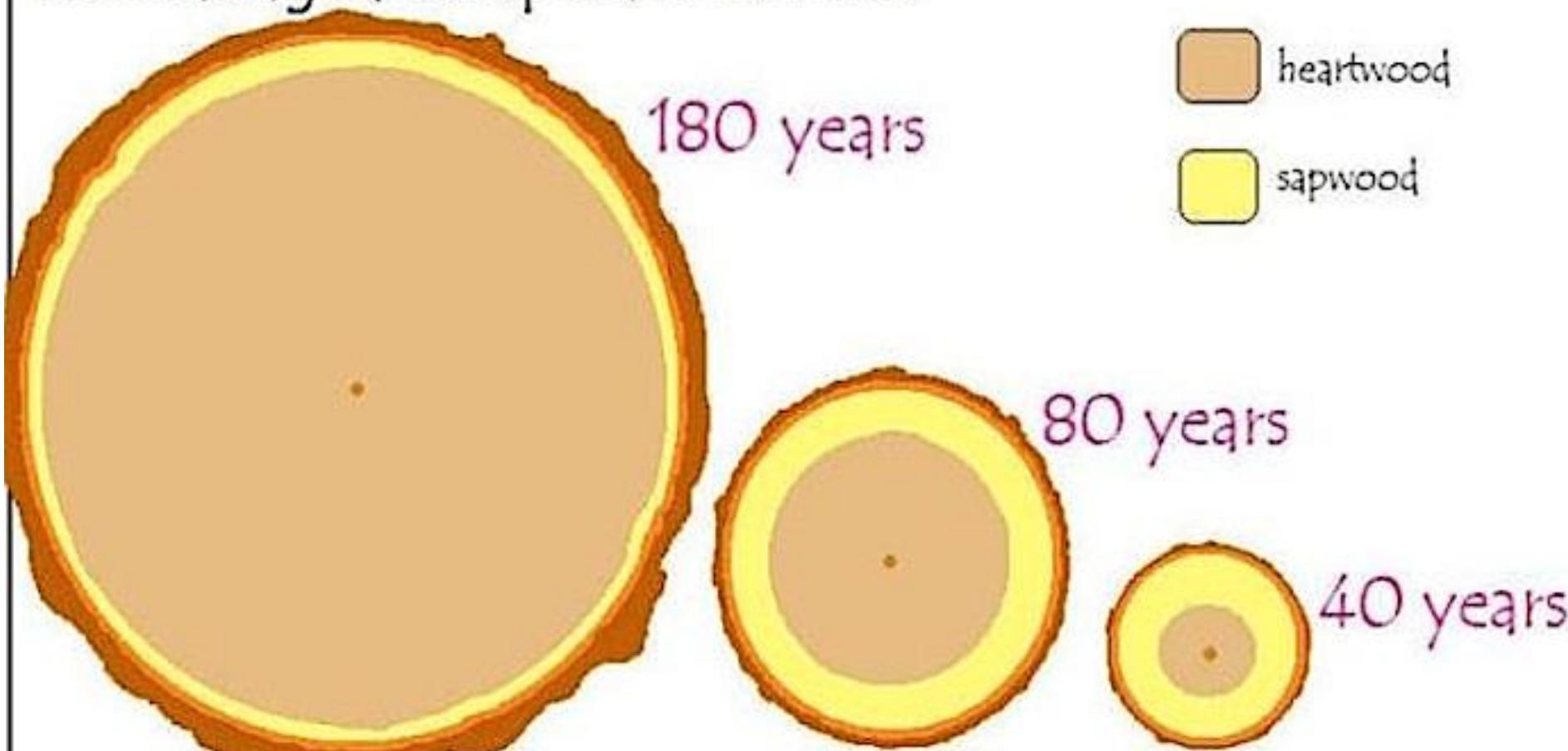




ишний голын хатуурсан хэсэг (heartwood) болон ишний зөөлөн, шүүс бүхий хэсэг (sapwood)

- 
- ишний голын хатуурсан хэсэг (heartwood) нь илүү бараан өнгөтэй (дайвар бодисууд), бат бөх чанартай
    - Мөн давирхай болон бусад өтгөрсөн органик бодисууд
  - ишний зөөлөн, шүүс бүхий хэсэг (sapwood) нь өнгө цайвар, амархан гэмтдэг
    - Голдуу ус болон түүнд уссан эрдэс бодис зөөвөрлөгдөж байдаг

## Heartwood/Sapwood ratios in various rotation ages of managed temperate forests



All solid wood manufacturing that meets high quality and durability standards uses only the heartwood of a tree. Sapwood is weaker, dimensionally unstable, and decomposes rapidly.

# Ишний голын хатуурсан хэсгийн дайвар бодисууд

---

- Ишний голын хатуурсан хэсгийн хар бараан өнгө нь түүнд агуулагдах дайвар бодисноос болдог. Төрөл бүрийн найрлагатай (органик уусгагчаар ялгаж болдог):
  - Θөх тос
  - Терпенойдууд
  - Фенолийн найрлагатай бодисууд
- Дайвар бодисуудаас хамаарч өөрчлөгдөх модны шинжүүд
  - Өнгө
  - Бат бөх чанар (тухайлбал нарс модны ишний гол хэсэг захаасаа илүү бат бөх байдаг)
  - Мөн наалдах чанарт нь нөлөөлдөг

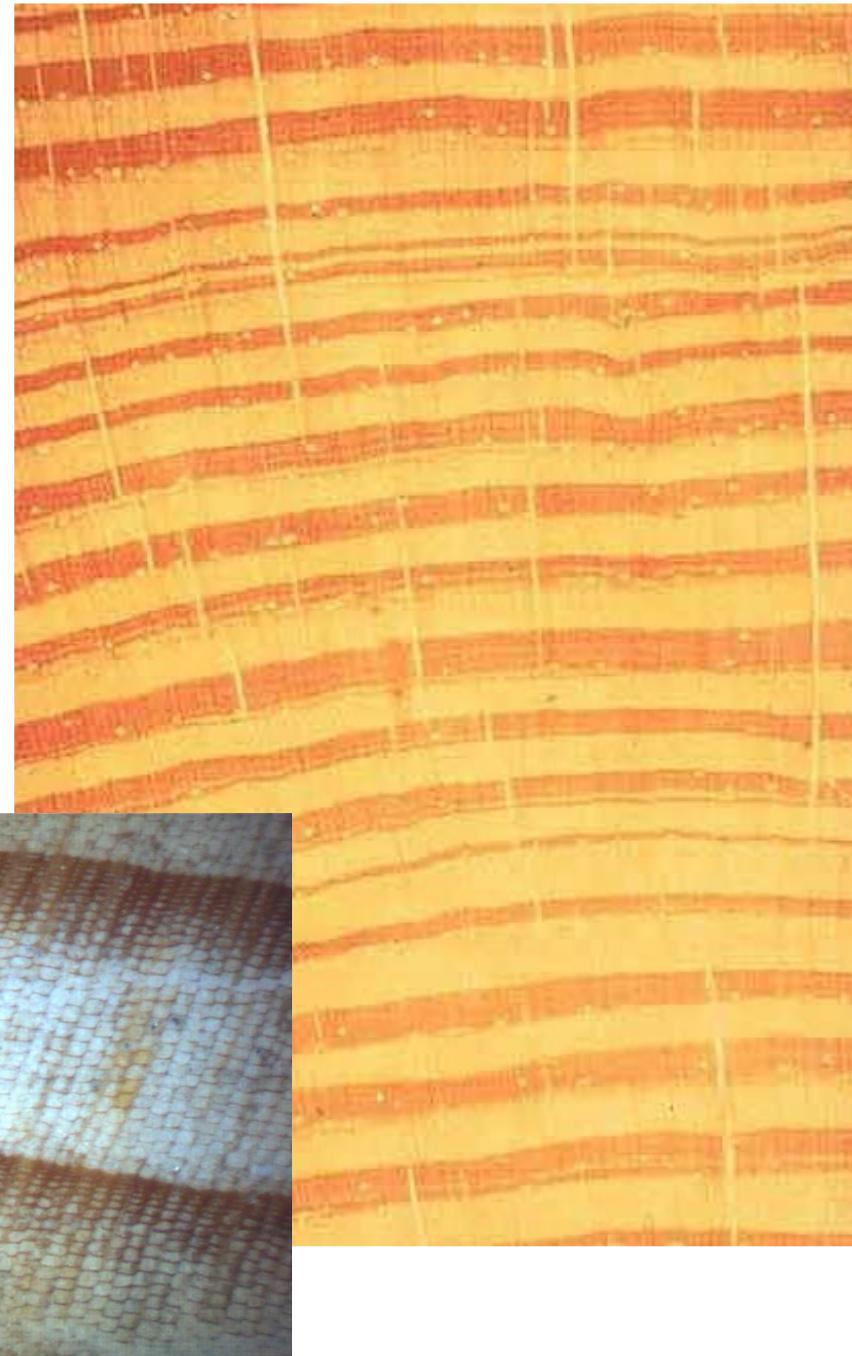


# Модны жилийн цагираг



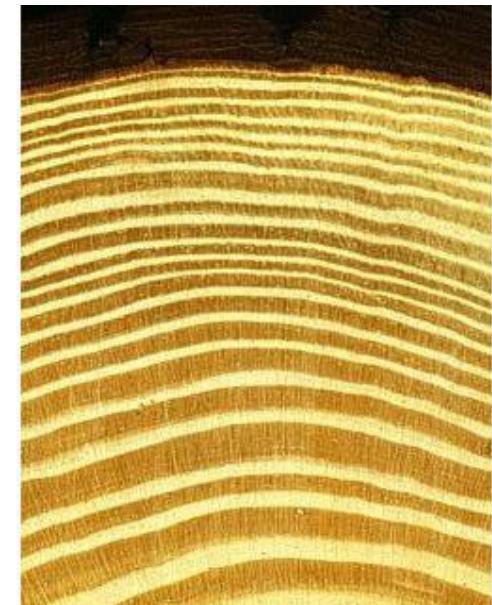
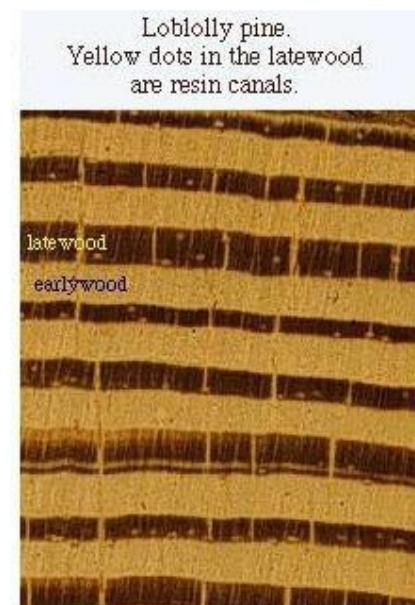
# Модны жилийн цагираг

- Цагирагийн өргөн нь тухай модны нас болон гадаад орны нөхцлөөс хамаар өөр өөр байдаг
- Тухайлбал хүйтэн чийглэг хойд өргөрөгийн орнуудад жилийн цагирагийн өсөлт нь дундажаар 1.5-2мм байдаг боловч
- Модны зүйл тус бүрийн өсөлт янз бүр байна
  - Нарс – 0.1-10мм
  - Гацуур 0.5-12мм
  - Хус – 0.5-10 мм гэх мэт
- Хаврын модлог болон зуны модлог гэж ялгагдана



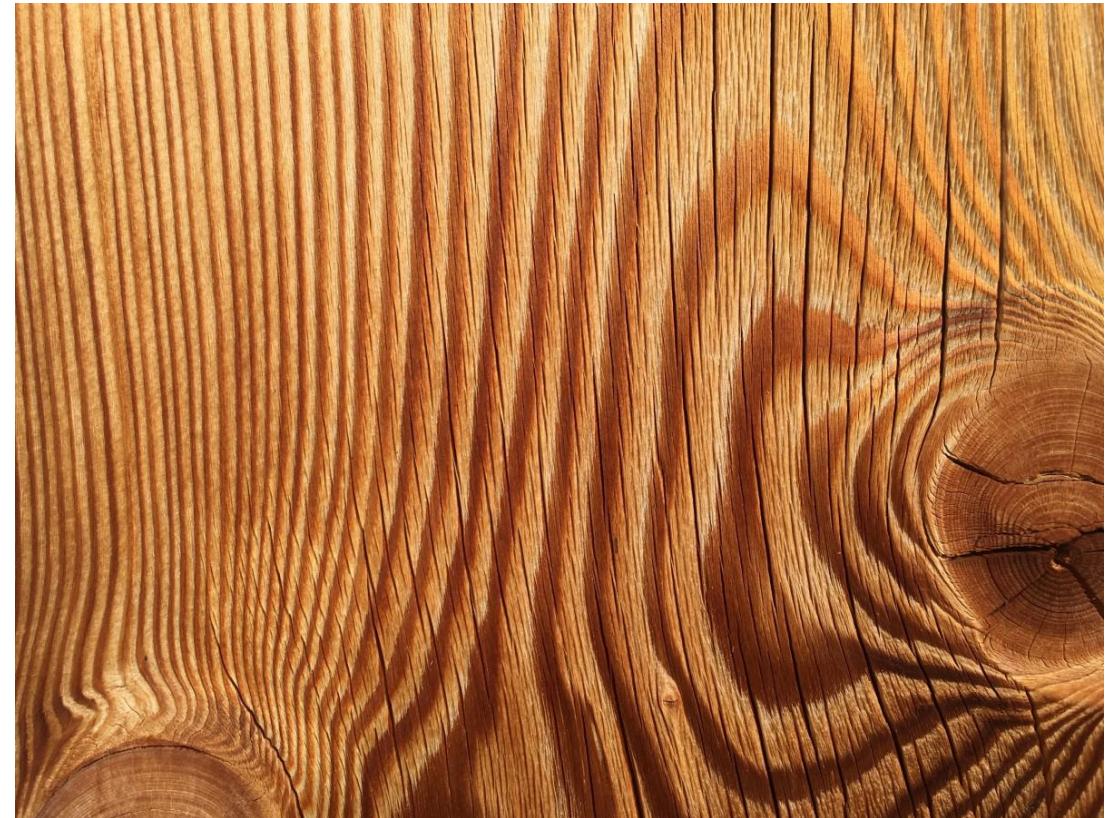
# Хаврын модлог ба зуны модлог

- Хаврын модлог нь зуны модлогийг бодвол өнгө цайвар нягт багатай
- Хаврын болон зуны модлогийн харьцаа нь заримдаа тухайн модны бат бөх чанарыг тодорхойлдог
- Зуны модлог эзлэх хувь их байх тусам хатуу бат бөх чанартай байдаг
  - Нарс – 25% (15-50%)
  - Гацуур – 15% (10-40%)

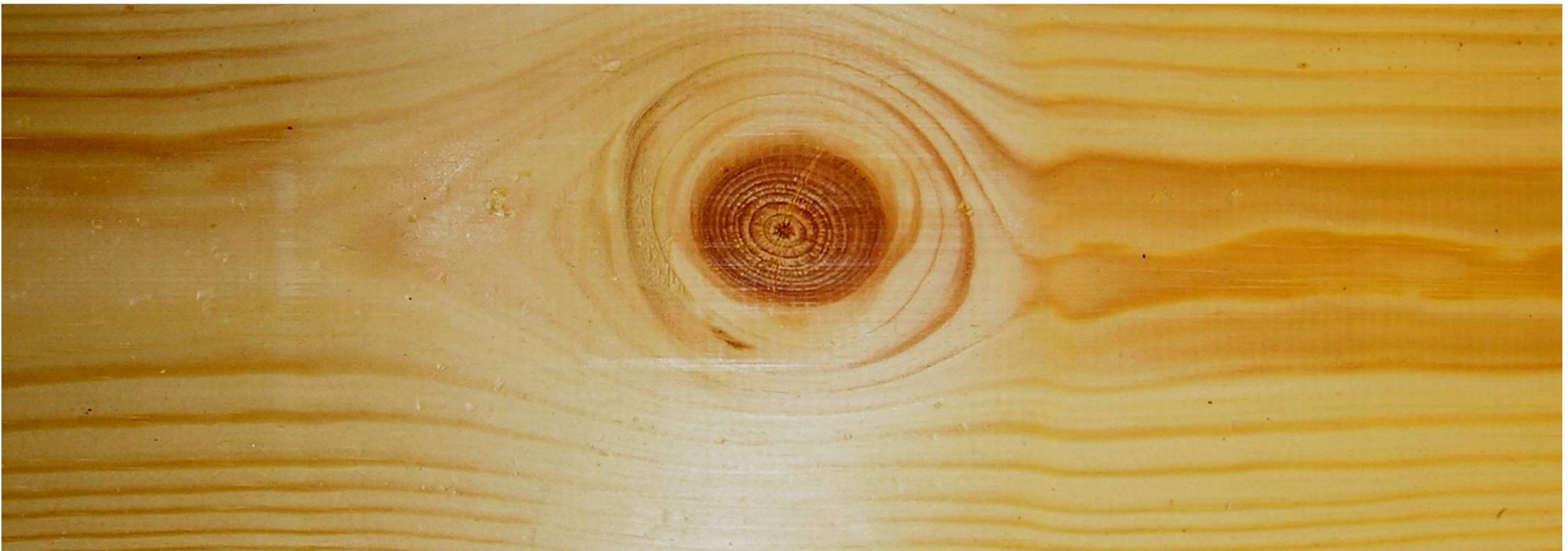


# Хаврын болон зуны модлогийн ялгаа

- Зуны модлогийн эзлэх хувь нь
  - экологийн орчиноос
  - Тухайн модны зүйлээс хамаардаг
- Өсөлтийн эрчим буурахын хирээр зуны модлогийн хувь нэмэгдэнэ
- Дулаан намар нь зуны модлогийн хувийг нэмэгдэнэ
- Харин намар гантай байх нь зуны модлогийн эзлэх хувийг багасгадаг
- Модны доод хэсгээс зуны модлогийн эзлэх хэмжээг харж болно
  - Эзэлхүүний хэмжээ (нарс):
    - хаврын модлог 300-370кг/м³
    - Зуны модлог 810-920 кг/м³



Модны ишин дээрх яр



# Яр гэж юу вэ?

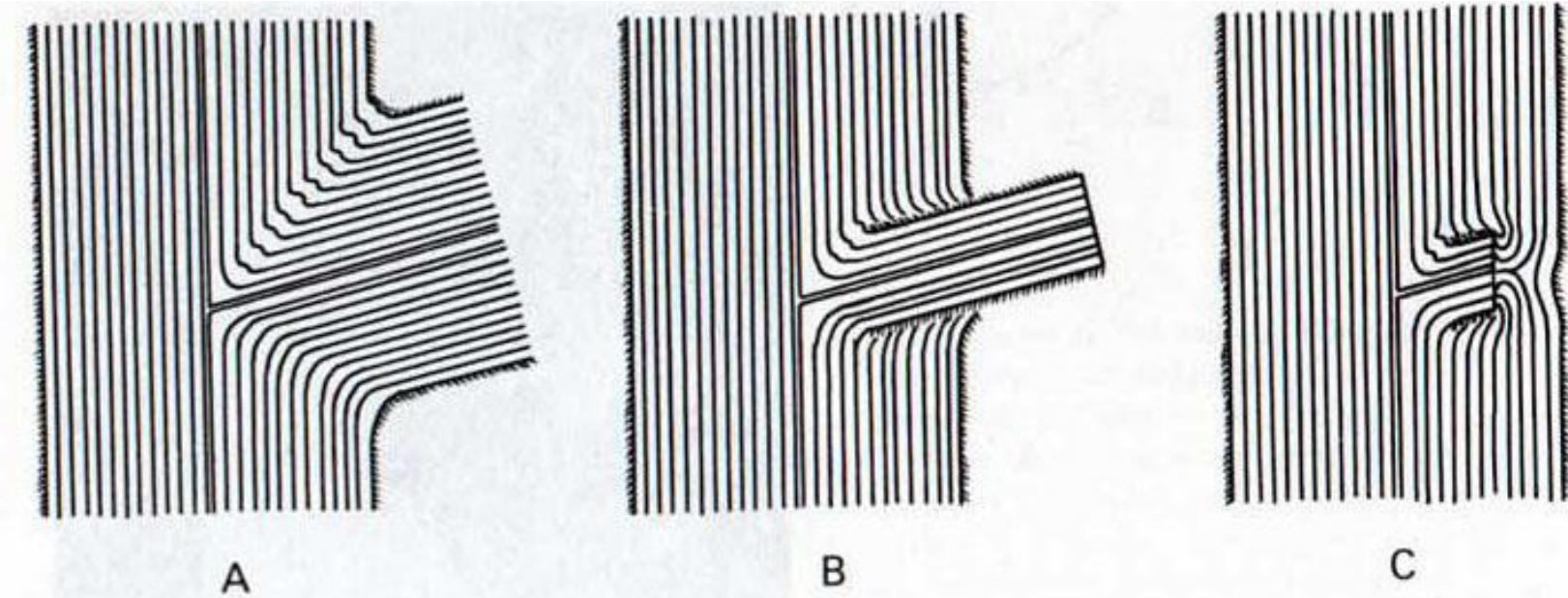


Fig. 5. Diagrams to illustrate the formation of live and dead knots. *A*, the base of a growing branch, of which the growth increments are continuous with those of the trunk; this branch will give rise to a live, tight knot. *B*, a branch has been cut and has died, so that in

the subsequent thickening of the parent trunk, its base, no longer growing, will become enclosed in the growing trunk, giving rise to a dead or loose knot. *C*, a branch has been cut off flush with the trunk. Subsequent growth of the trunk produces knot-free timber.

Sycamore

Tiger Maple

Catalpa

Box Elder

Red Elm

Burr Oak

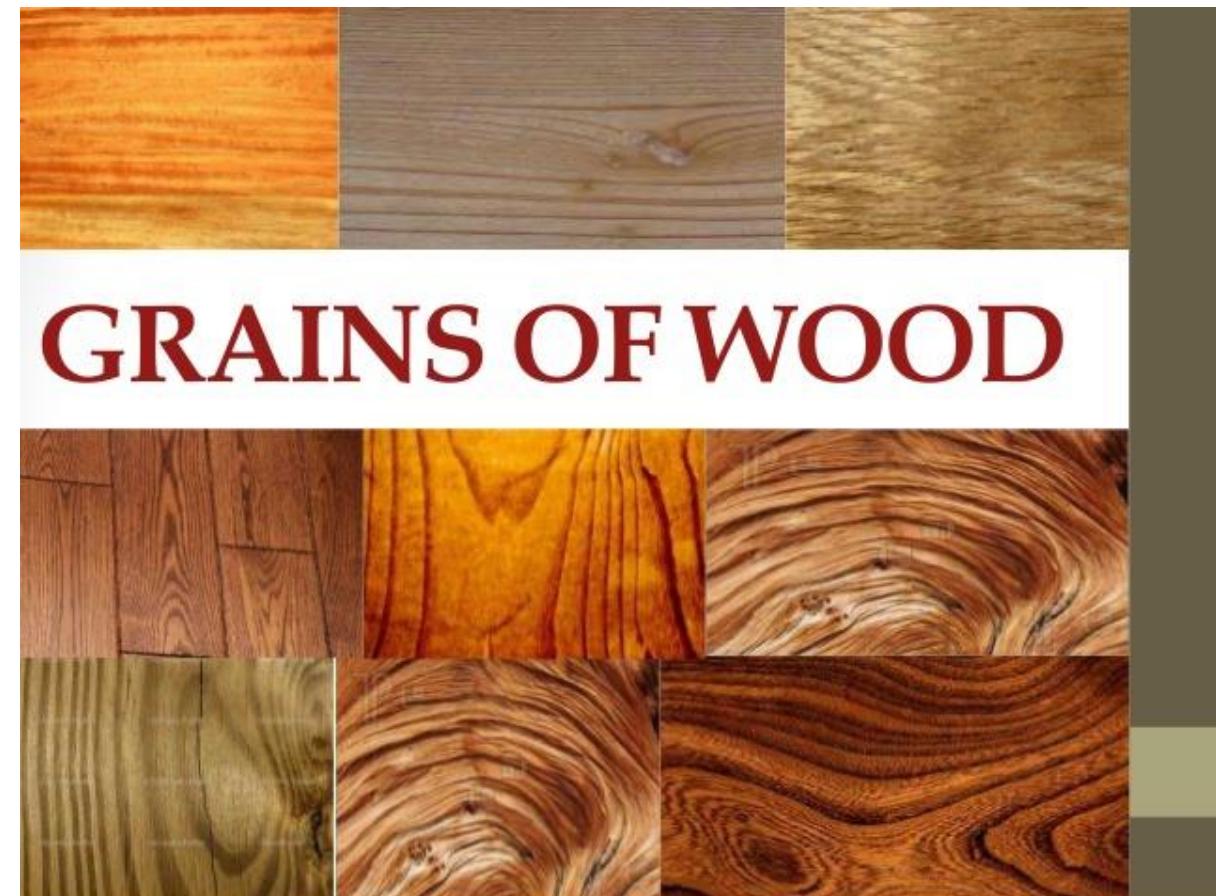
White Oak

Cherry

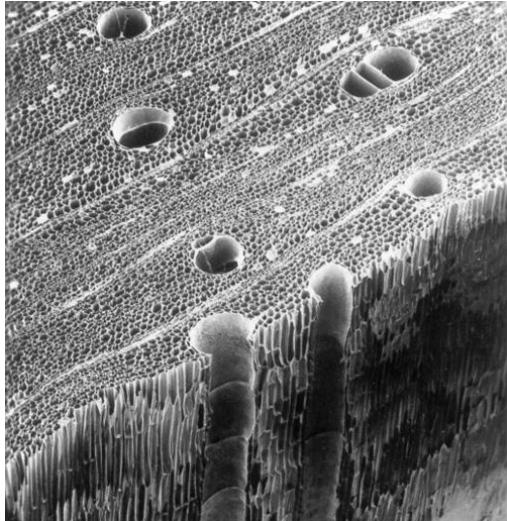
Mahogany

Black Walnut

Dyed Tiger Maple

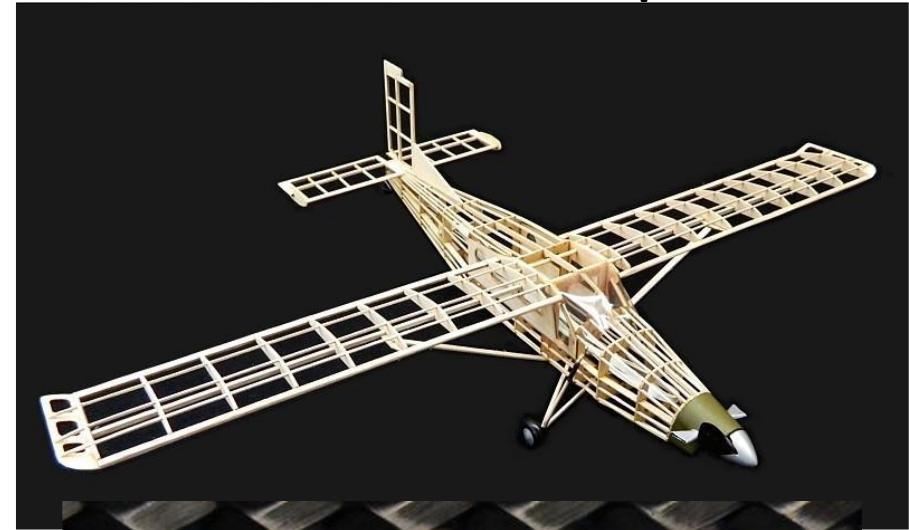


# Модны анатомийн механик шинж чанар



Balsa: нягт $\sim$  160 кг/м<sup>3</sup>

Хэрэглээ: өндөр үзүүлэлттэй нарийн бүтэц бүхий  
загвар модель урлахад



# Модны анатомийн механик шинж чанар



Greenheart: нягт ~1055 кг/м³

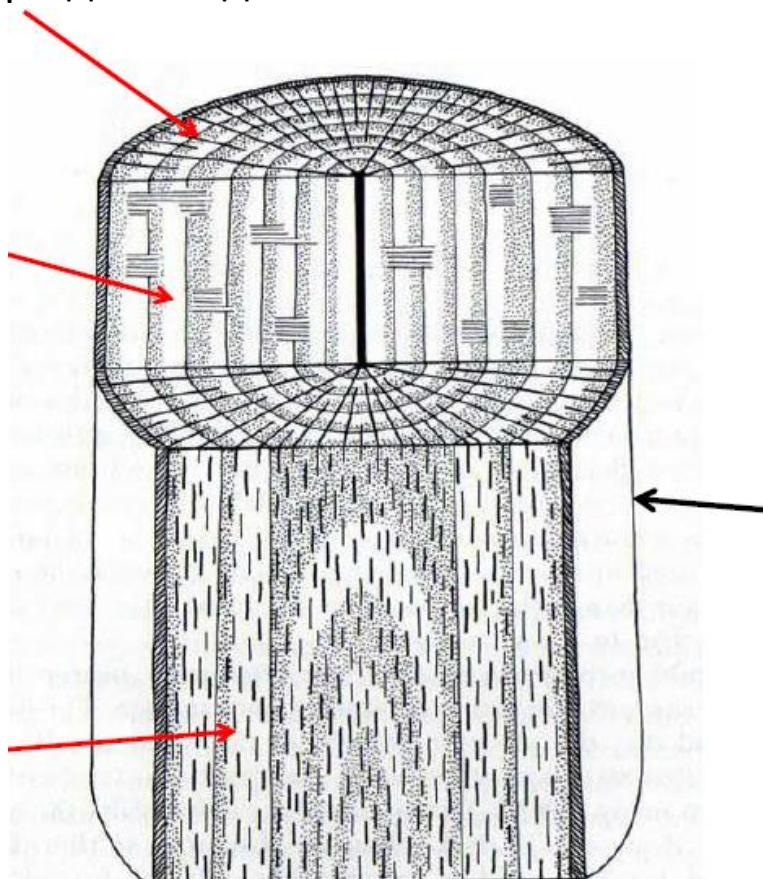
Uses: усан зогсоолын хавтан, хөвөгч сал, усан онгоц

# Микро бүтэц

- Мод нь эсийн бүтэц бүхий амьд бие бөгөөд эд бүр нь өөр өөр үүрэгтэй байдаг
- Эдгээр модлогийн эсүүд нь нэг бол параллель (ширхэглэгийн чиглэлийн 90%) эсвэл перпендикуляр (цацрагийн эсүүд) чиглэлд модны тэнхлэгийн дагуу байрласан байдаг

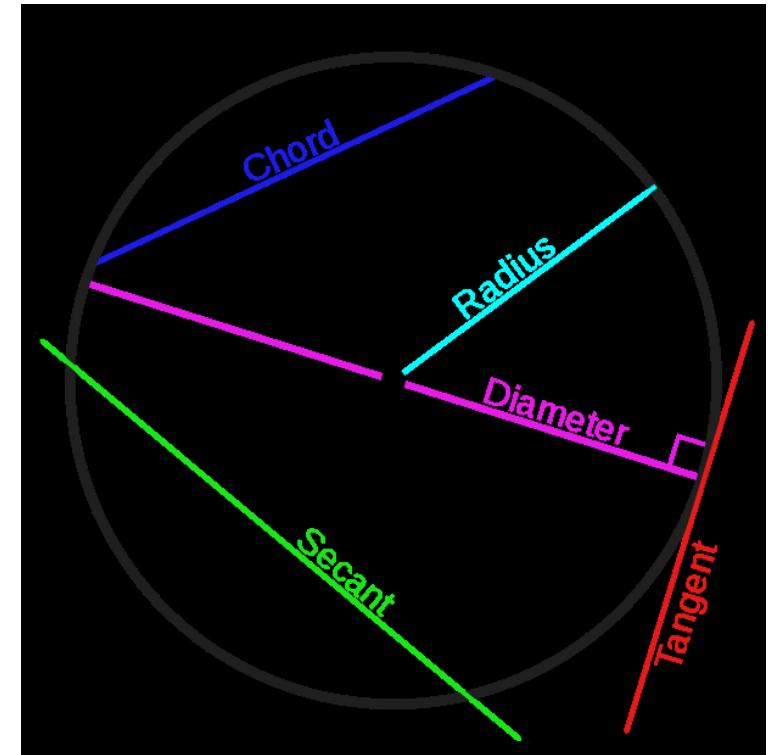
# БҮТЭЦ

Хөндлөн огтлолд харагдах байдал

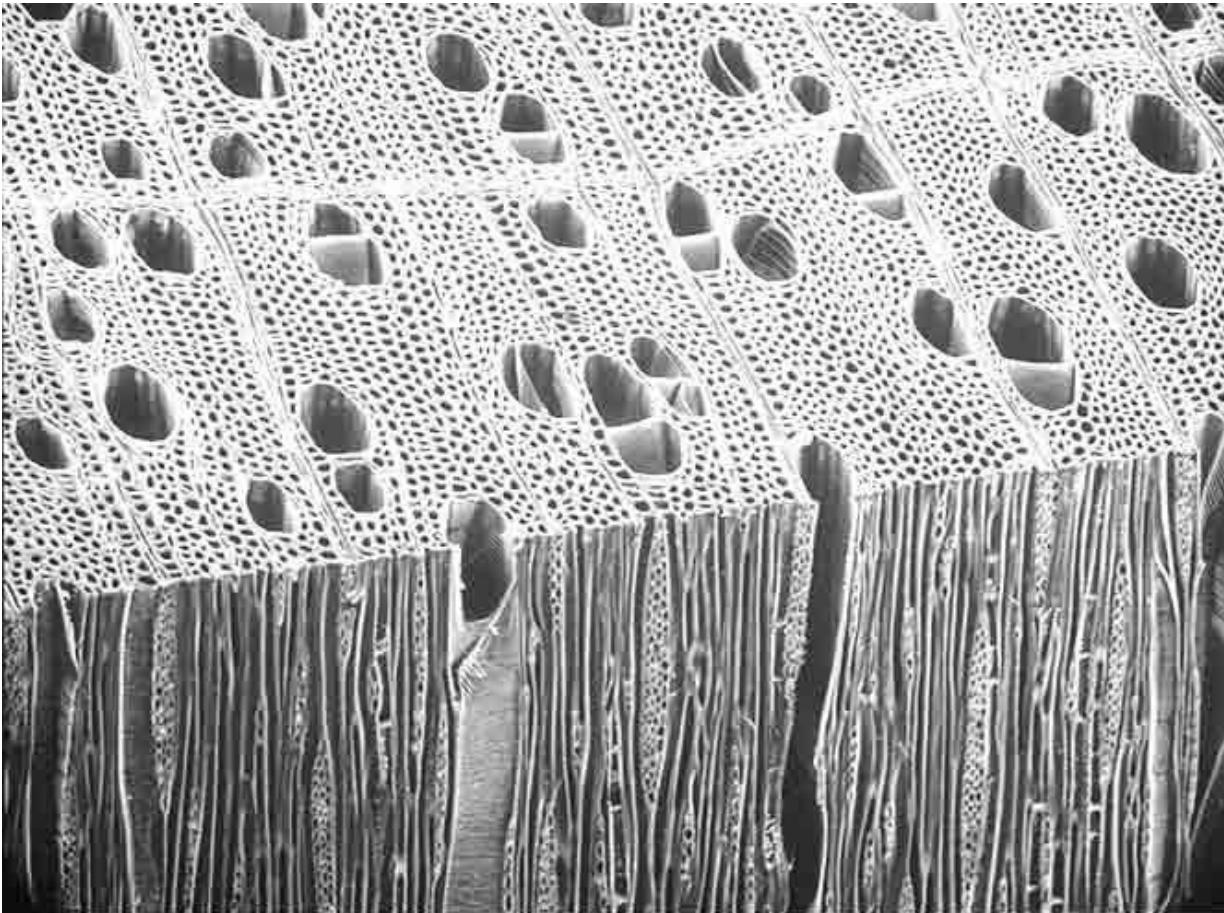


Цацрагийн дагуу буюу  
туүш огтлолт харагдаж байдал

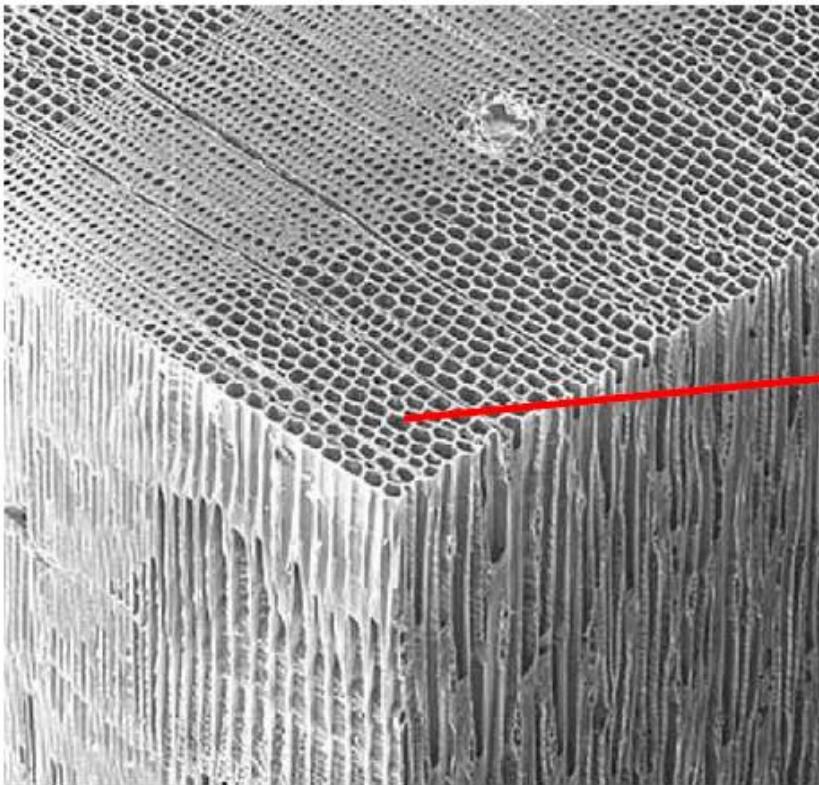
Тангенциал чиглэлд буюу голч  
тэнхлэгээс перпендикуляр (босоо)  
чиглэлд харагдах байдал



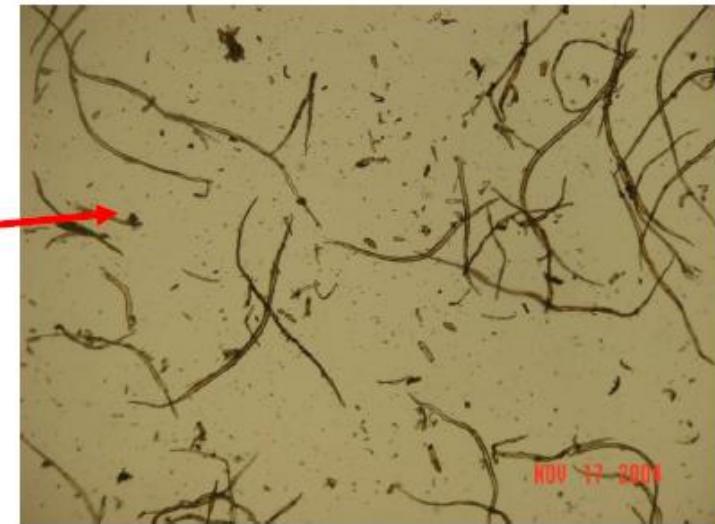
# Модлогийн бүтэц



# Модлогийн микроскопын бүтэц



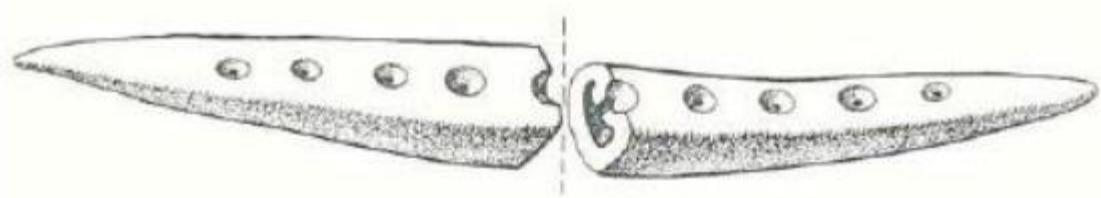
Cellular structure



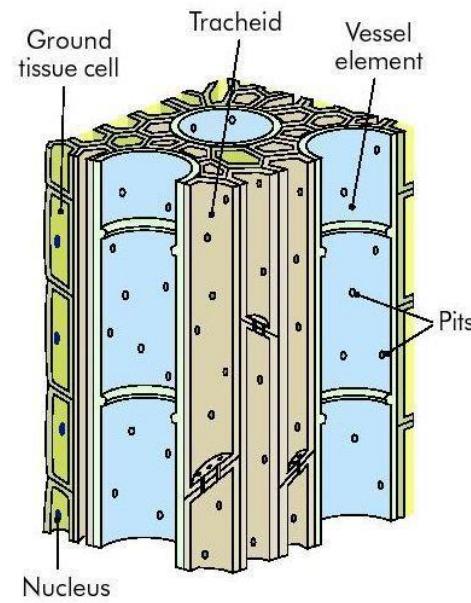
Wood fibres

# Модлогийн эс буюу ксилем эс

- Онцлогууд
  - Гуурс хэлбэрийн бүтэцтэй
  - Үргээс хамаарч эсийн хананы зузаан өөр өөр байдаг
  - Төвд байрлах хоосон зайнг нь люмен гэж нэрлэдэг
  - Ховдол гэж нэрлэгдэх бүтэц нь эсүүдийг хооронд нь холбодог
  - Эсийн хуваагдлаар үүсдэг



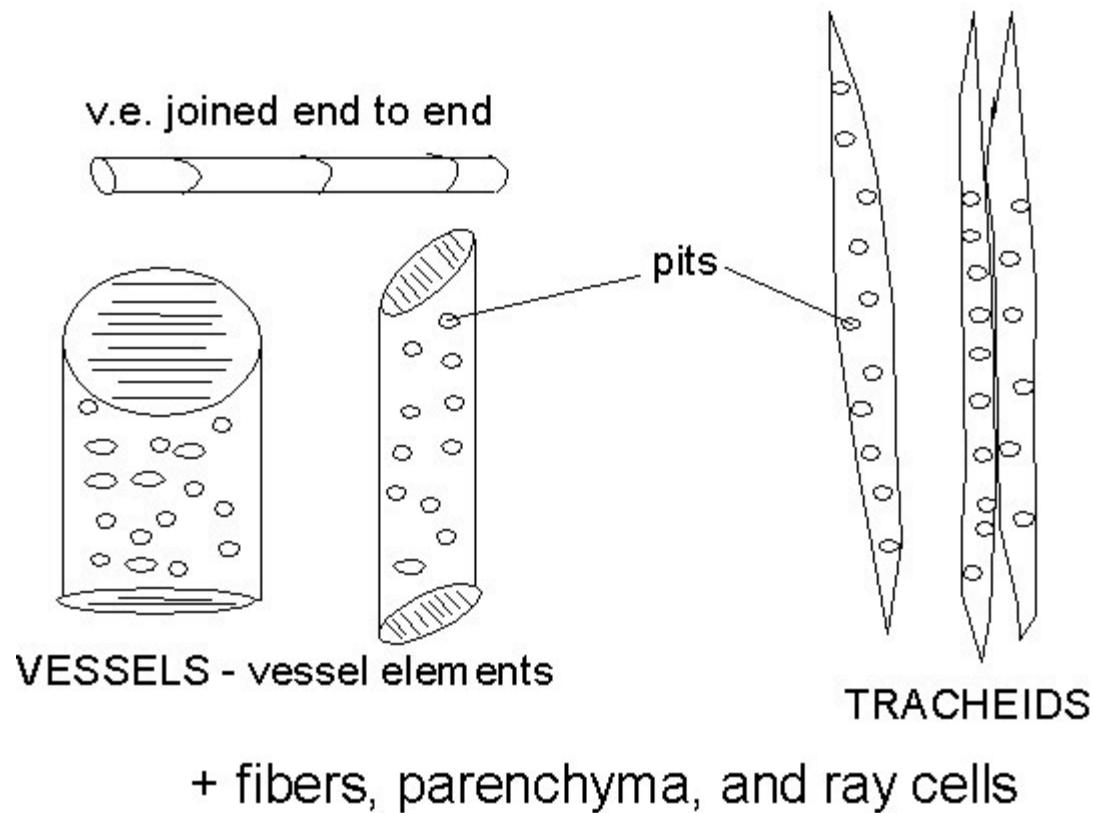
Xylem tissue



# ЭСИЙН ТӨРӨЛҮҮД

- Хатуу модлог
  - Трахейдүүд
  - Паренхими эсүүд
  - Фибер буюу эслэг (эсийн хана нь зузаарсан эсүүд)-ийн гол үүрэг нь тулгуурын үүрэг
  - Нүх сүвүүд нь дамжуулах үүрэг гүйцэтгэдэг тусгай эдүүд

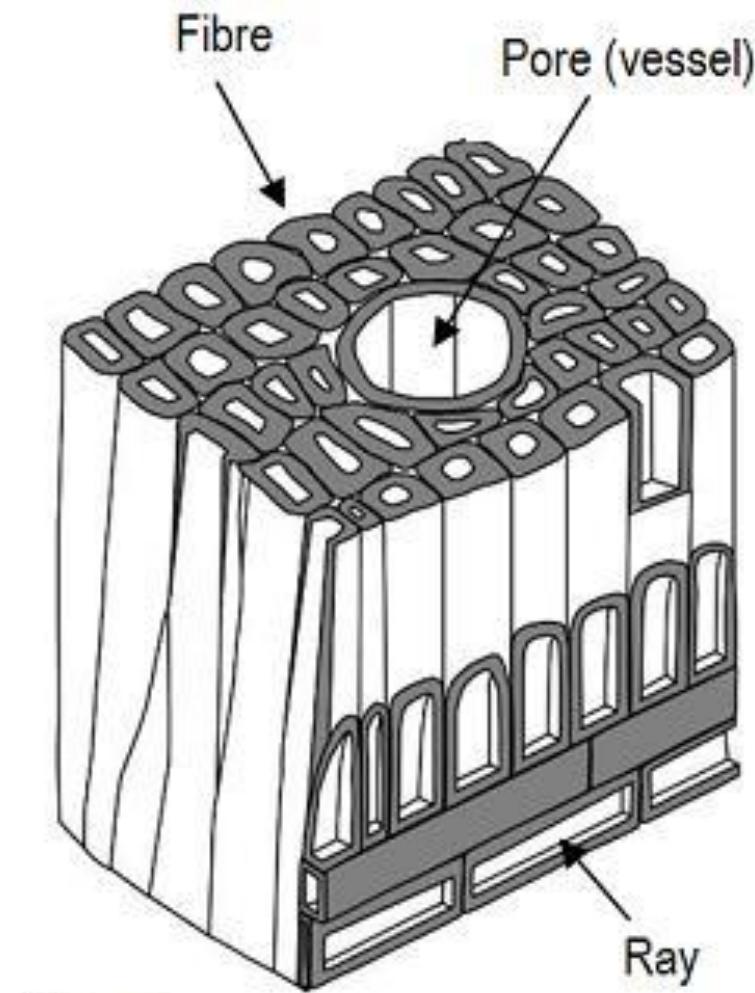
## COMPONENTS OF XYLEM



- Зөвлөн модлог
  - Трахейдүүд (тулгуур болон дамжуулах үүрэгтэй)
    - Налуугийн харьцаа ~100:1
  - Паренхими эсүүд (цацрагийн эсэнд нөөцлөх, хадгалах үүрэг гүйцэтгэнэ)

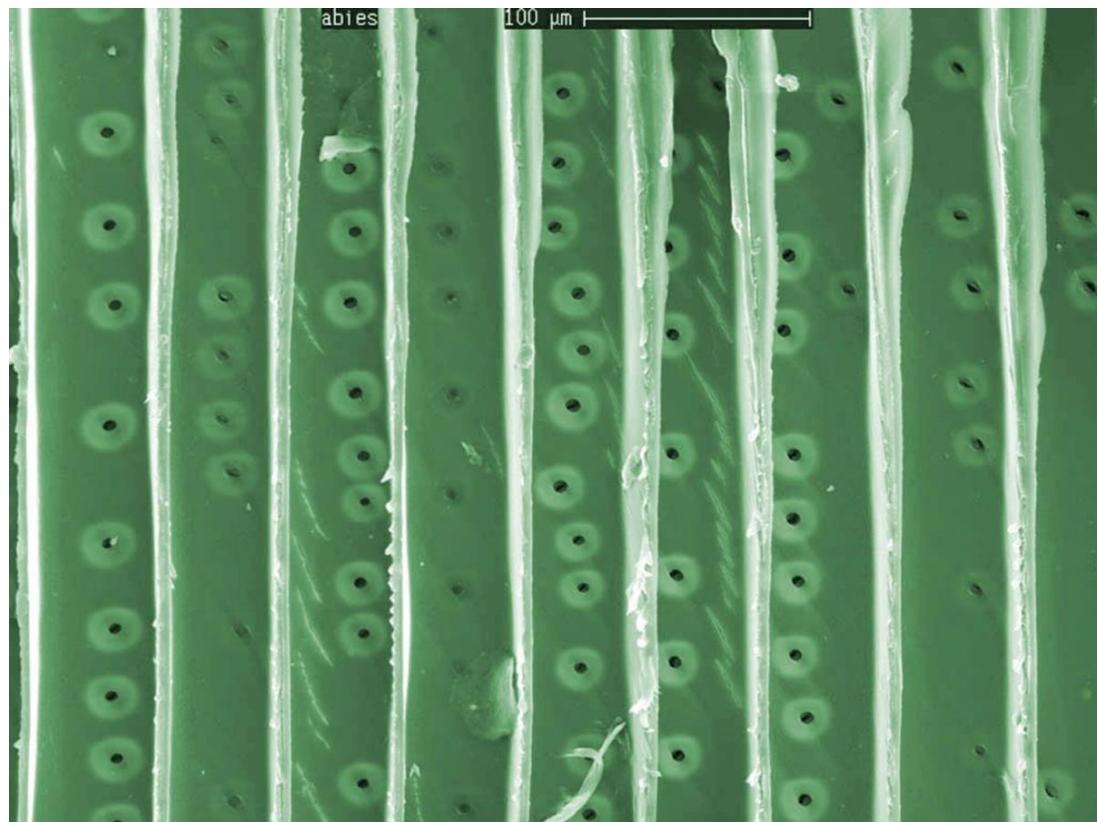
# ЭСИЙН ТӨРӨЛҮҮД

- **Эслэгүүд:** уртассан, үхсэн, хөндий эсүүд. Эсийн хана нь люменийг тойрон байрладаг. Тэдний гол үүрэг нь шингэнийг дамжуулах мөн тулгууриний үүрэг
- **Паренхим эсүүд:** анатомийн бүтэцэд харагдах байдал нь “өрсөн тоосго мэт”, трахейдүүдээс ялгагдах онцлог нь модны паренхим эсүүд нь хэдэн жилдээ амьд байдаг. Энэхүү паренхим бүхий модлогийг ишний шүүслэг зөөлөн хэсэг буюу sapwood гэж нэрлэдэг. Эдгээр амьд эсүүд нь үхснээр бидний мэдэх ишний голын хатуу хэсэг буюу heartwood үүсдэг. Мөн эдгээр эсүүд үхэхээр түүнд нөөцлөгдөж байсан бодисууд дайвар бодисууд болдог. Паренхим эсүүд нь цацрагийн эсэнд буюу модлогийн эсийн хэвтээ чиглэлд байрладаг цацрагийн эдүүдэд байдаг. Мөн модлогийн эсүүдэд буюу модны гол ишийг даган босоо тэнхлэгийн дагуу оршино.



# Эсийн төрөлүүд

- **Трахейдүүд:** дамжуулах болон тулгуурын байлгах үүрэг бүхий эслэгүүд
  - Хаврын модлог нь дамжуулах
  - Зуны модлог нь тулгуурын үүрэгтэй
- Пит буюу ховдол нь цацрагийн дагуу буюу түүш огтлолд люмений харагдах байдал юм
- Эсийн бүтэцэнд бас цууралт гарсан байгааг зурагнаас ажиглана уу



(<http://sciencewise.anu.edu.au/articles/timbers>)

# Эсийн төрөлүүд

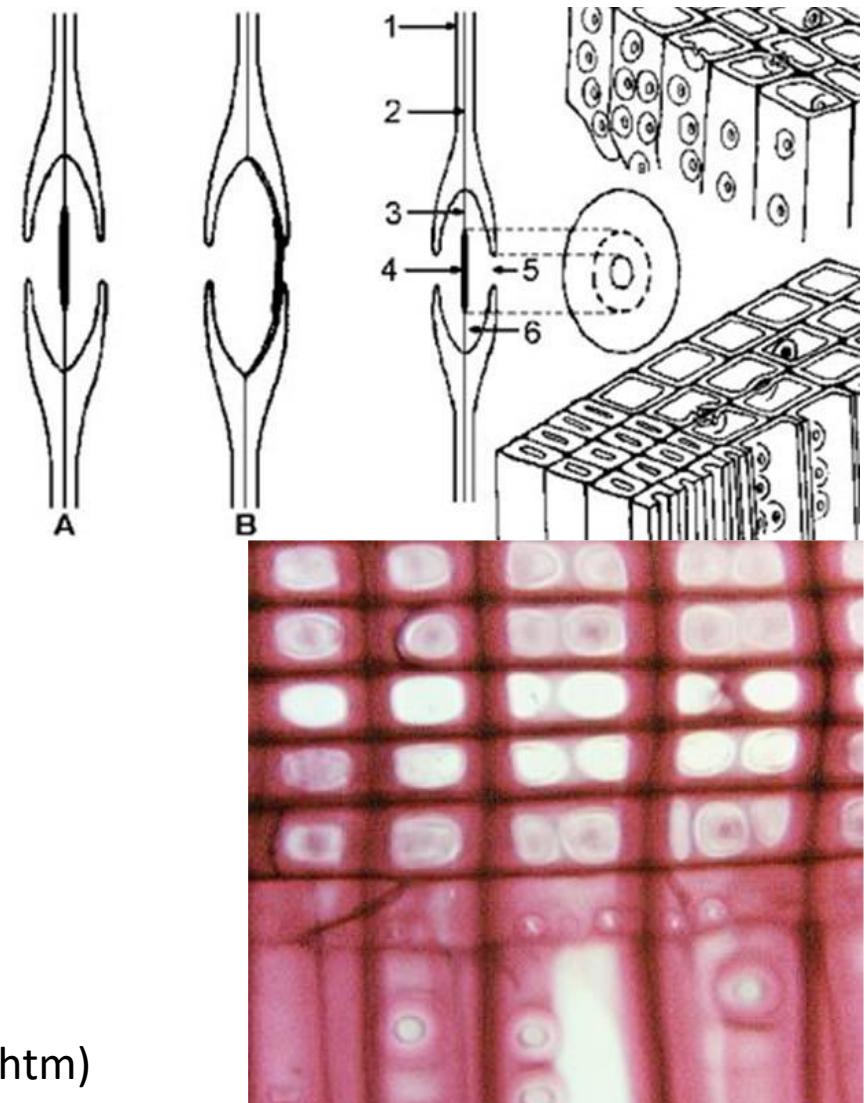
- **Нүх сүвүүд:** босоо хоолой хэлбэртэй нүх сүвүүд нь эсийн хана нь бүрэн болон тал байдлаар уусаж алга болсон давхарласан эсүүдээс тогтдог. Гол үүрэг нь шингэнийг хурдан дамжуулах юм
- Нүх сүвүүд нь дээр дээрээсээ давхарлан урт хоолой хэлбэртэй байдаг



([http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/library/  
webb/BOT410/Xylem/Xylem-1.htm](http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/library/webb/BOT410/Xylem/Xylem-1.htm))

# ЭСИЙН ОНЦЛОГ ШИНЖ ЧАНАРУУД

- Эсүүд нь ховдол гэж нэрлэгдэх бүтцээр хоорондоо холбогддог бөгөөд энэ нь тууш чиглэлд давхарлах эсийн хананд байдаг.
- Босоо чиглэлтэй эдүүд нь хоорондоо цацрагийн эсүүдээр холбогдох ба тэдгээрийн огтолцол дээр ховдолын хөндий үүсдэг.
- Модлогийг хатаах явцад энэ ховдолд хуримтлагдсан чийг модон бүтээгдэхүүний чанарт нөлөөлдөг бөгөөд тусгай даралтын аргаар, мөн механик аргаар задалж дараагийн боловсруулалт хийх шаардлага гардаг

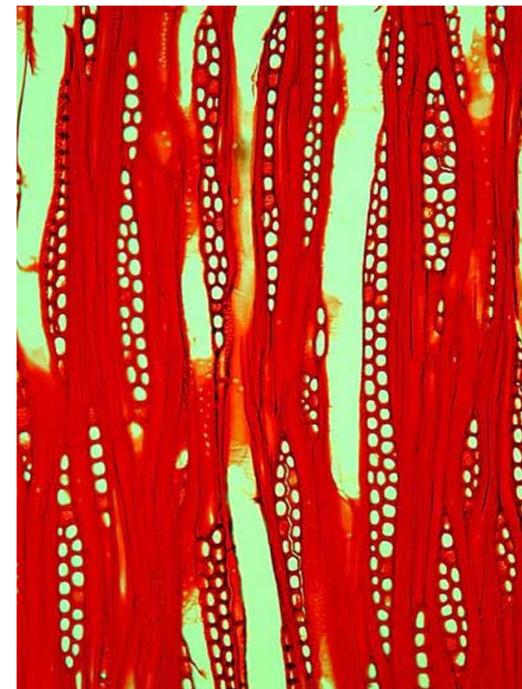


(Populus tremula L)

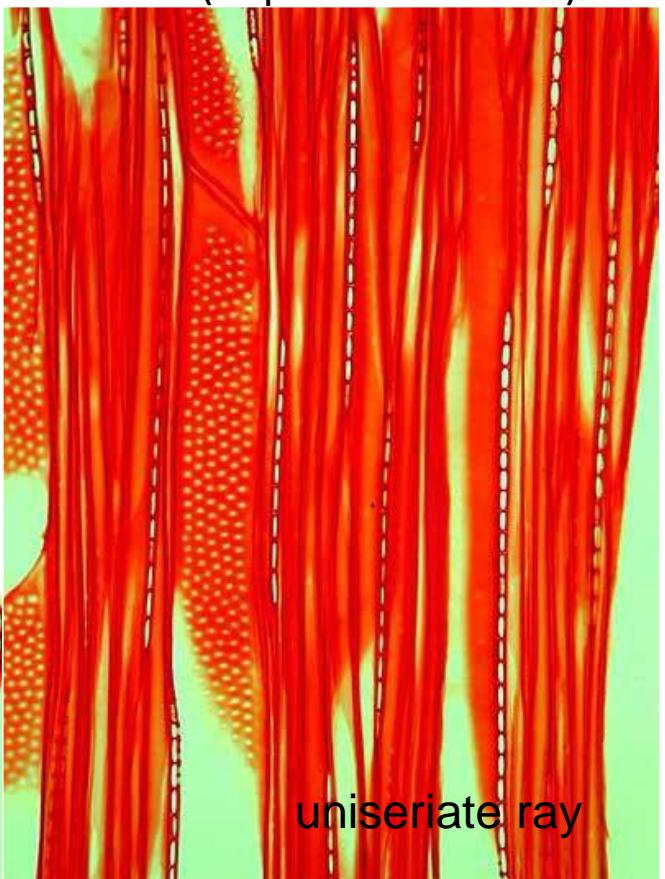
# Цацрагийн эсүүд

- Цацрагийн эсүүд нь багц эсвэл цуваа хэлбэрээр тангенциал буюу модны голтой перпендикуляр (босоо) чиглэлд харагддаг.
- Модны зүйлүүд хоорондоо энэхүү цацрагийн багц эсүүд нэг эгнээ юу олон эгнээтэй юу гэдгээрээ ялгагддаг

(Pirus malus L.)



biseriate ray

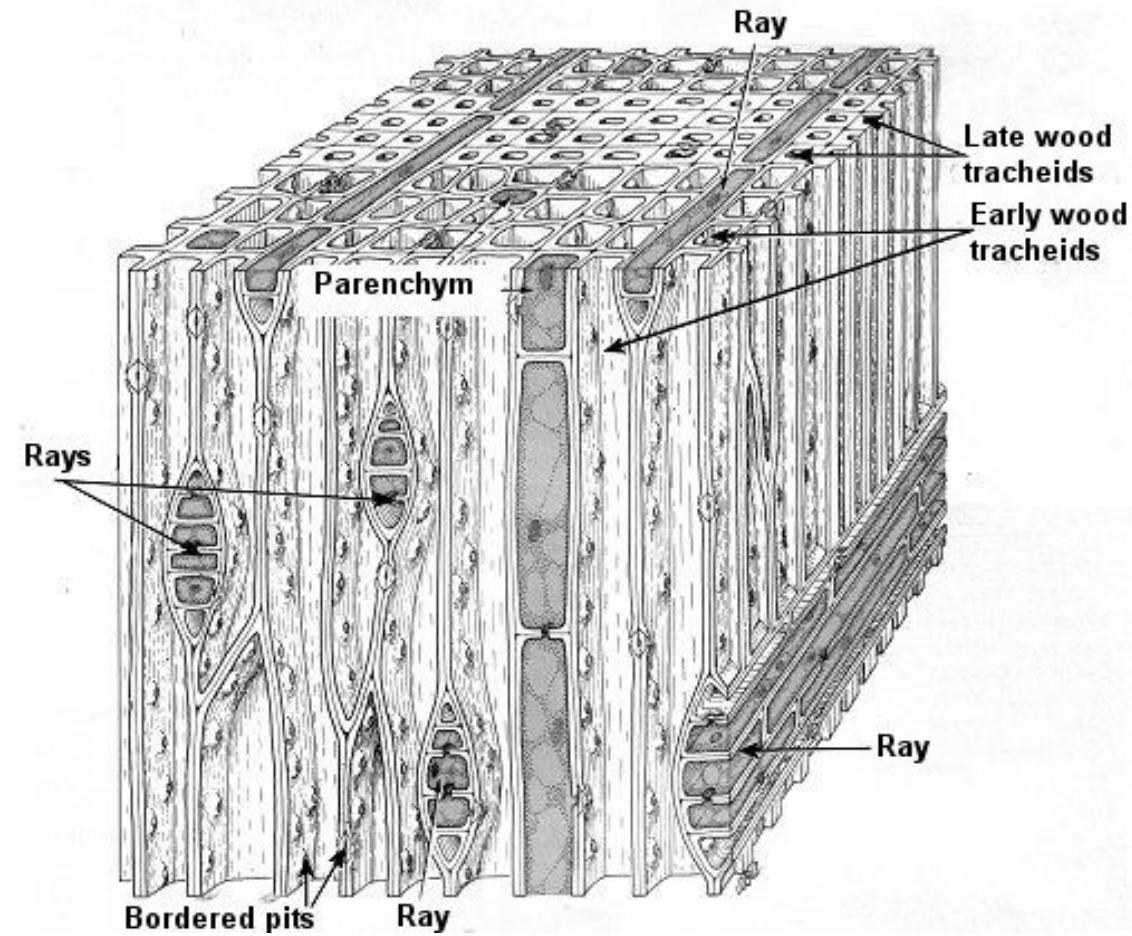


uniserial ray

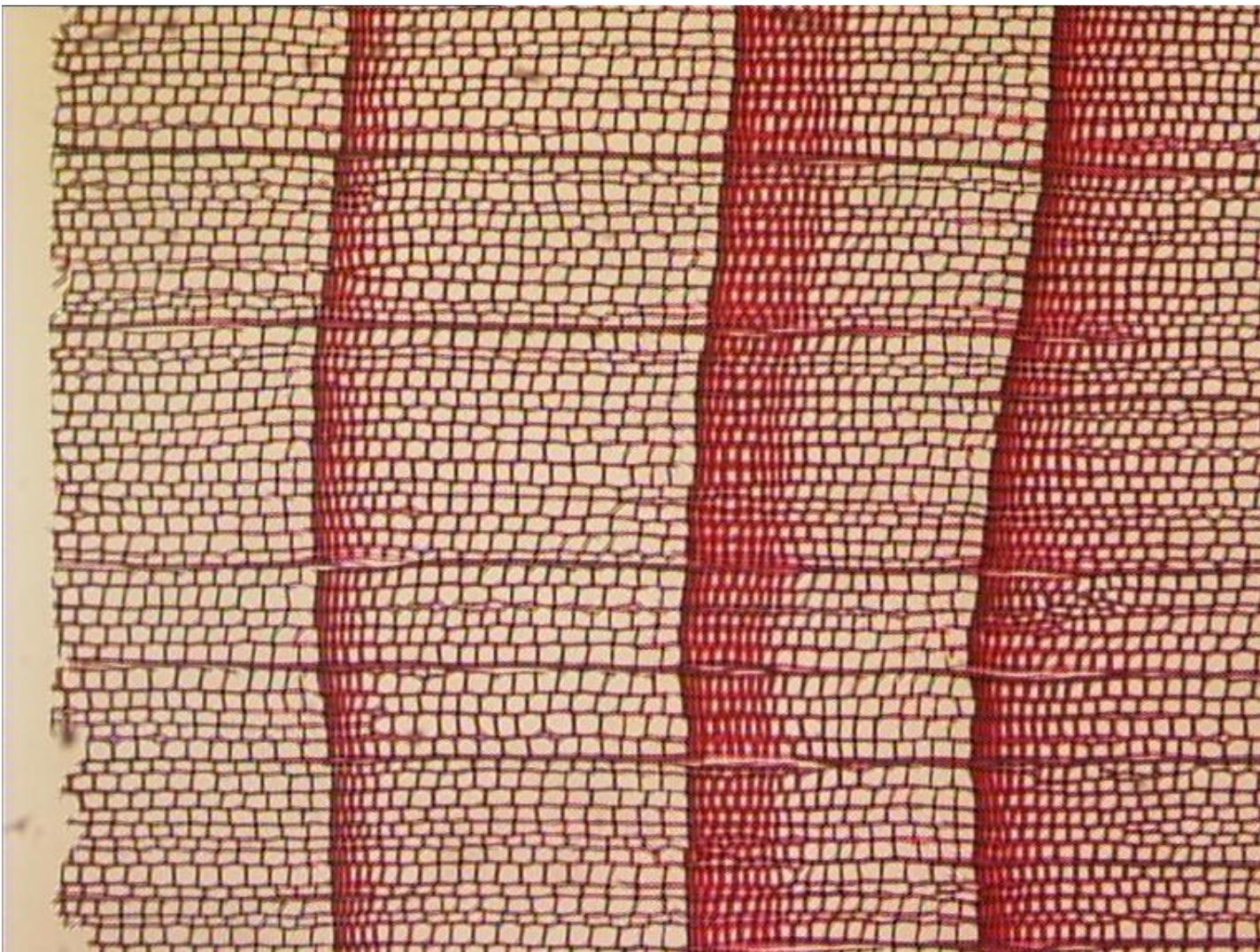
# ЗӨӨЛӨН МОДЛОГ

- Хатуу модлогтой харьцуулвал энгийн бүтэцтэй
- Хаврын болон зуны модлогийн трахейдүүд, цацрагийн паренхими эсүүдээс тогтсон бүтэцтэй. Модлогийн эсэд паренхими эсүүд маш ховор.
- Трахейдүүд нь босоо чиглэлд байрласан, зарим зүйлийн шилмүүст модны цацрагууд дунд бас байдаг.
- Модлог дотор давирхайн сувагтай (эс биш), энэ нь эпителийн эс бүхий паренхими эсүүд бөгөөд давирхайг суваг уруу ялгаруулдаг. Эдгээр сувгууд нь модлогийн босоо болон түүш чиглэлд цацрагийн эсэн дунд байрладаг ба түүнийг нь эрүүл хэлбэрт цацрагууд гэж нэрлэдэг.

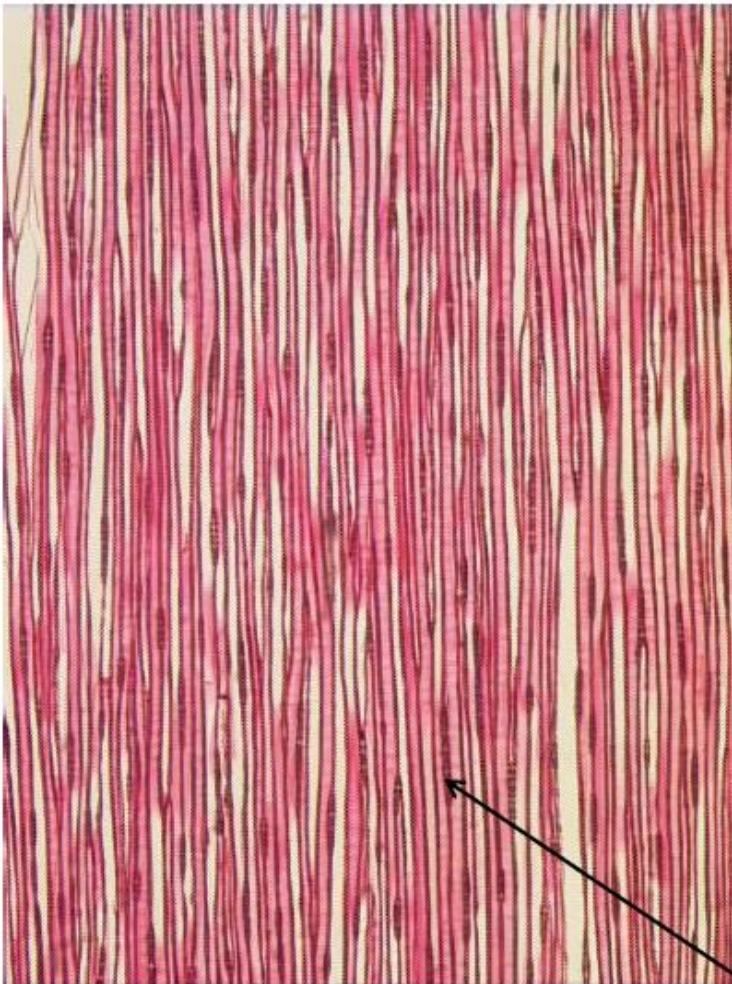
# Зөөлөн модлог буюу шилмүүст модны анатоми бүтэц



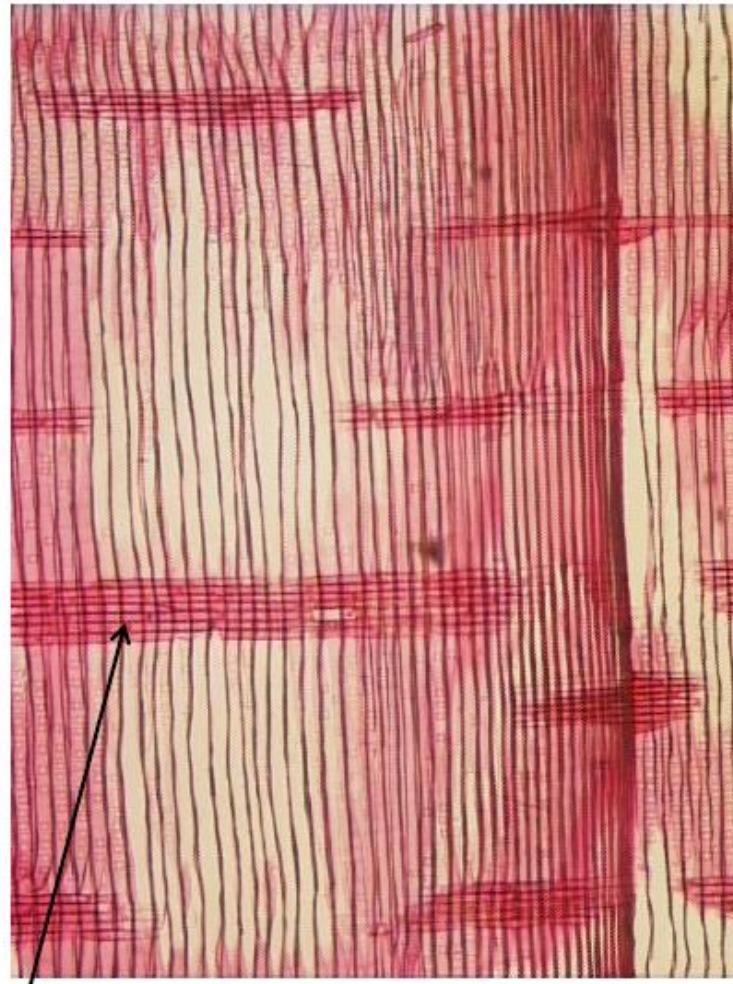
Хөндлөн огтлолд харагдах байдал



# Босоо чиглэлд харагдах байдал



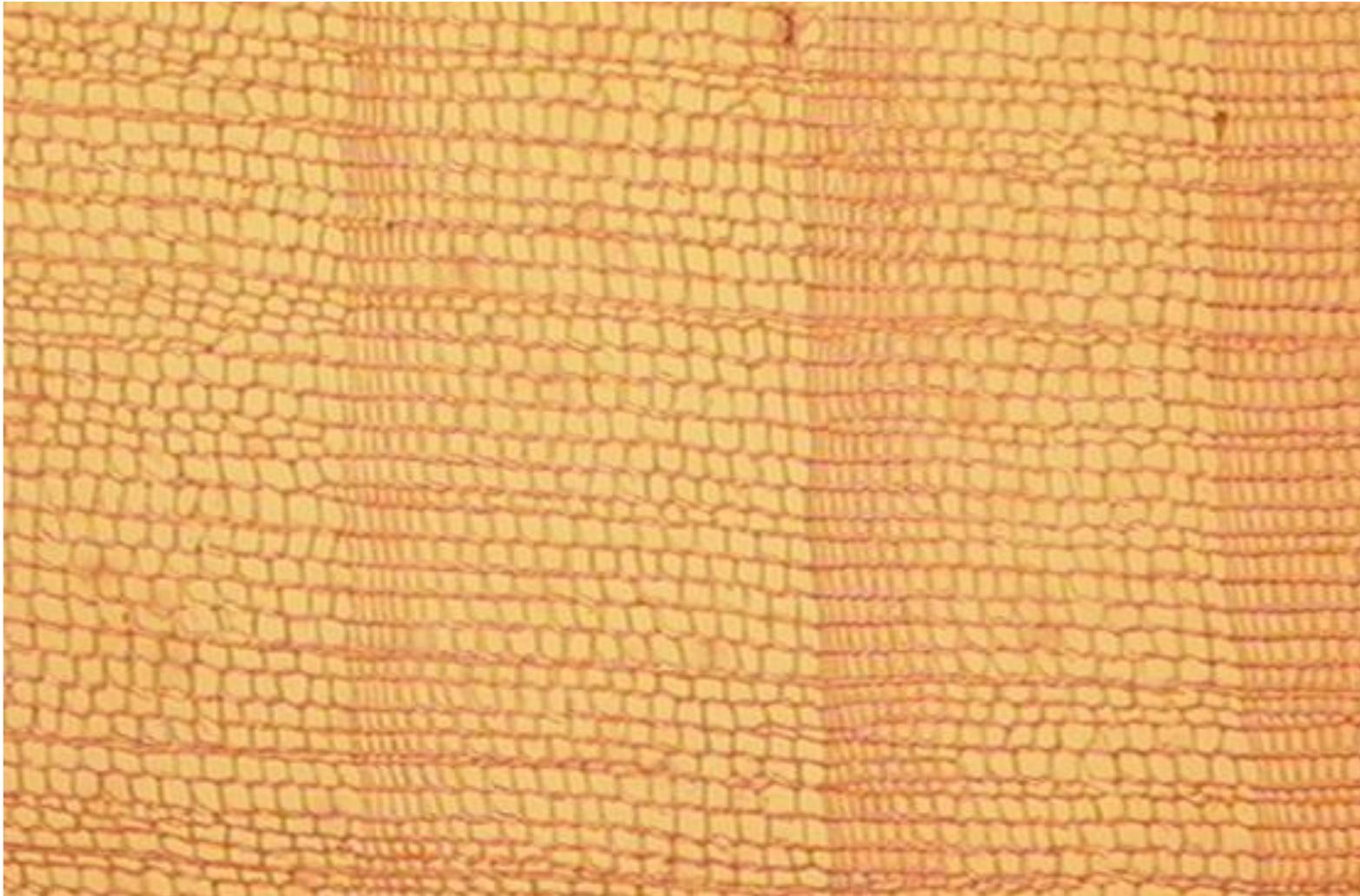
Tangential



Rays

Radial

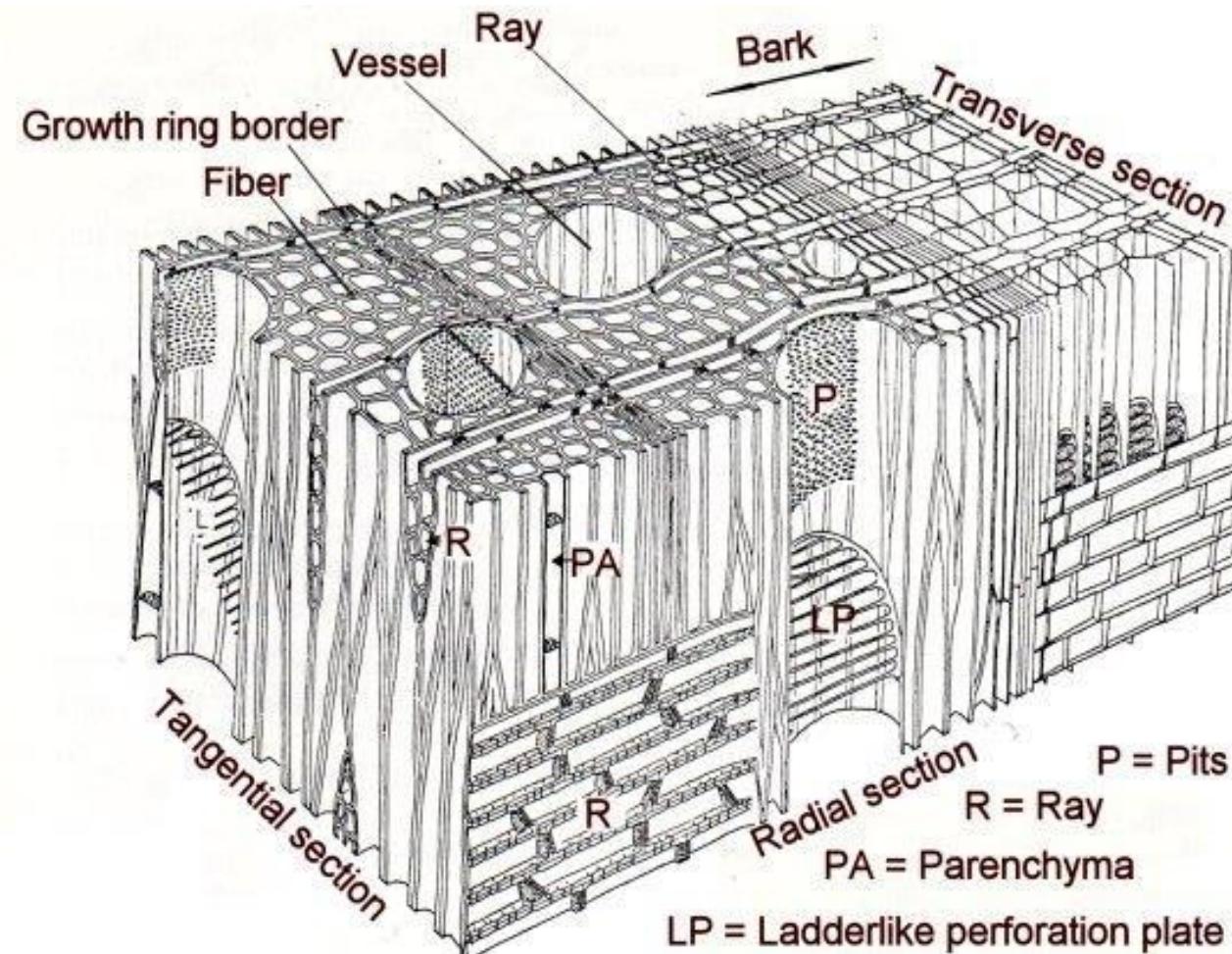
Нарсны хөндлөн огтлол (x150 өсгөлт )



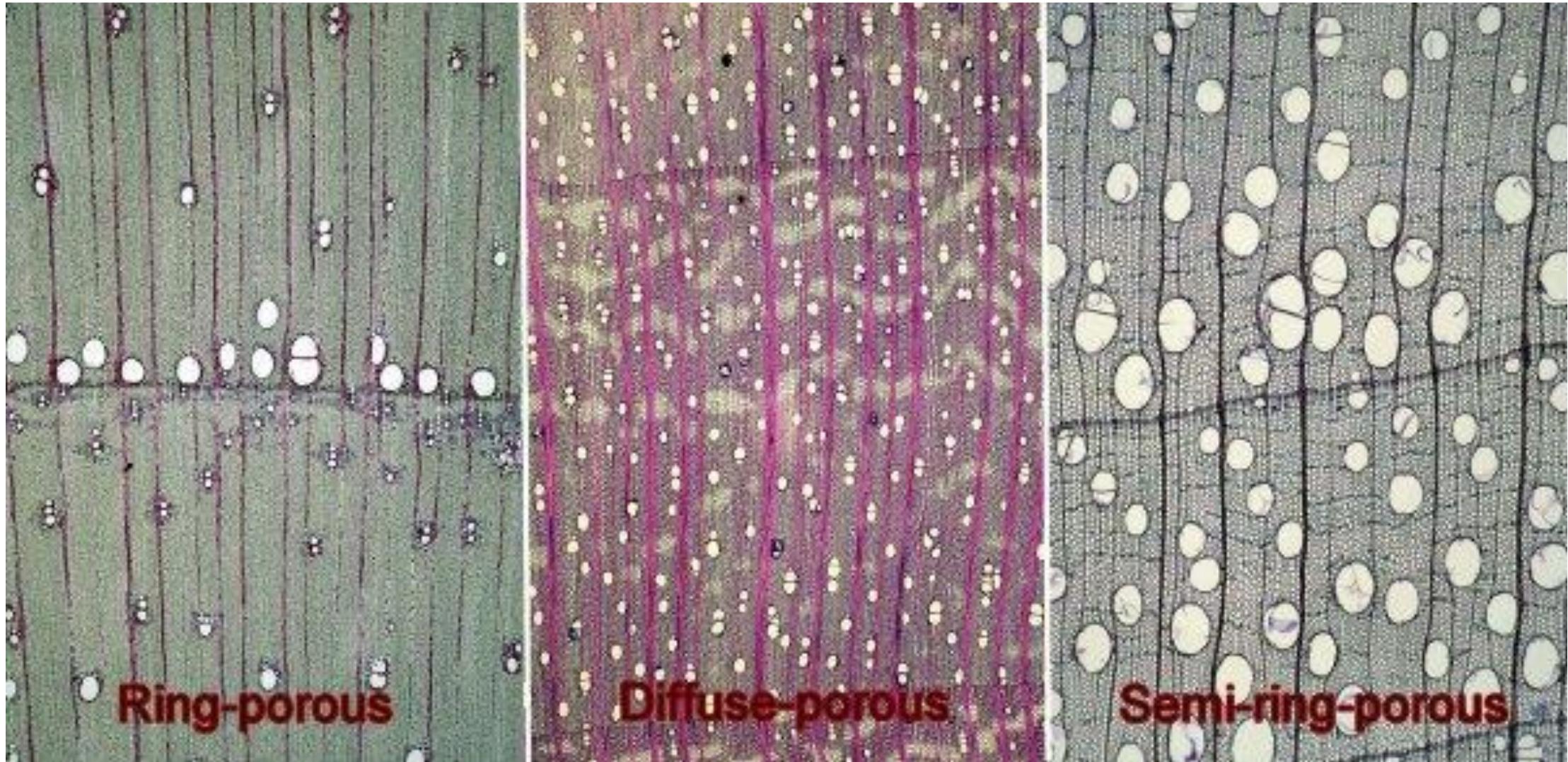
# Хатуу Модлог

- Зөвлөн модлогийг бодвол харьцангуй нарийн бүтэцтэй
- Трахейд, паренхимээс гадна нүх сув, эслэг зэрэг эсийн нарийн нийлмэл бүтэцтэйгээс гадна эслэг нь мөн модожин уртассан хэлбэртэй болсон нь механикийн үүрэг гүйцэтгэдэг.
- Нүх сувийн байрлал нь навчит модны зүйлүүдийг хооронд нь ялгах түлхүүр болдог
- Мөн модлогт агуулагдах паренхим эсүүд нь анатомоор нь зүйл хоорондыг ялгах нэг шинж болдог. Өөрөөр хэлбэл зөвлөн модлог буюу шилмүүс модыг бодвол хатуу модлог буюу навчит модонд паренхими эсүүд их байдаг.

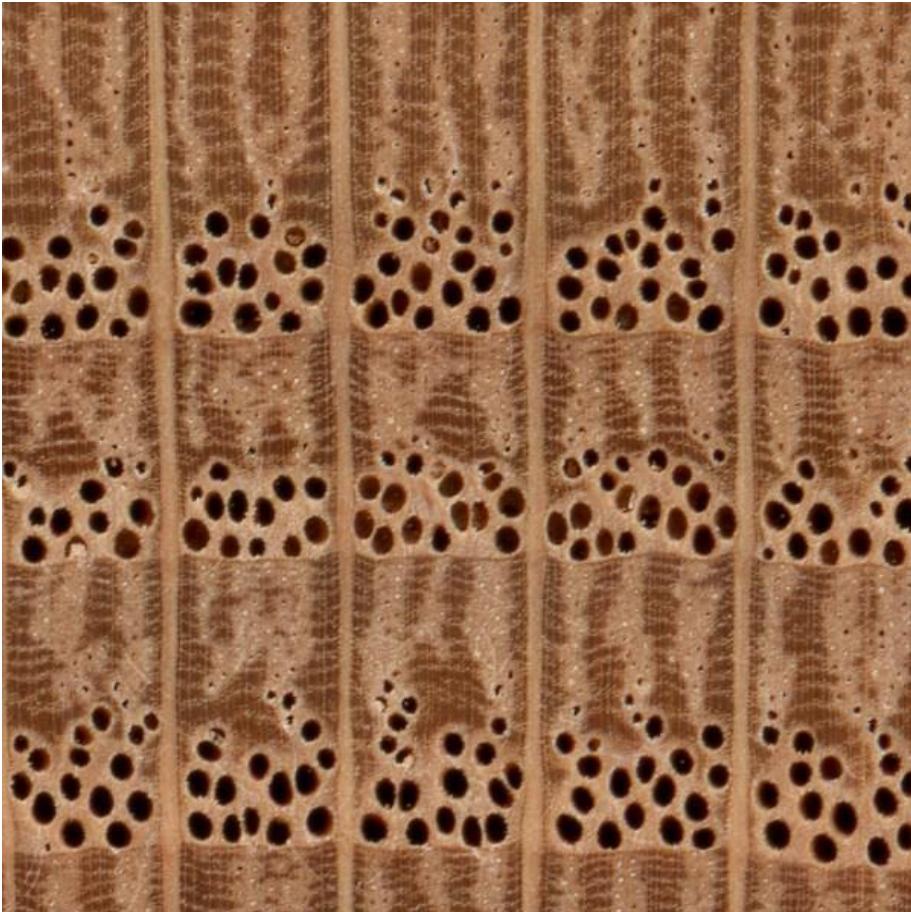
# Хатуу модлог буюу навчигт модны анатоми бүтэц



# Нүх сүвүүдийн байрлал



# Цагираг хэлбэрийн нүх сүв



(<http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/red-oak/>)

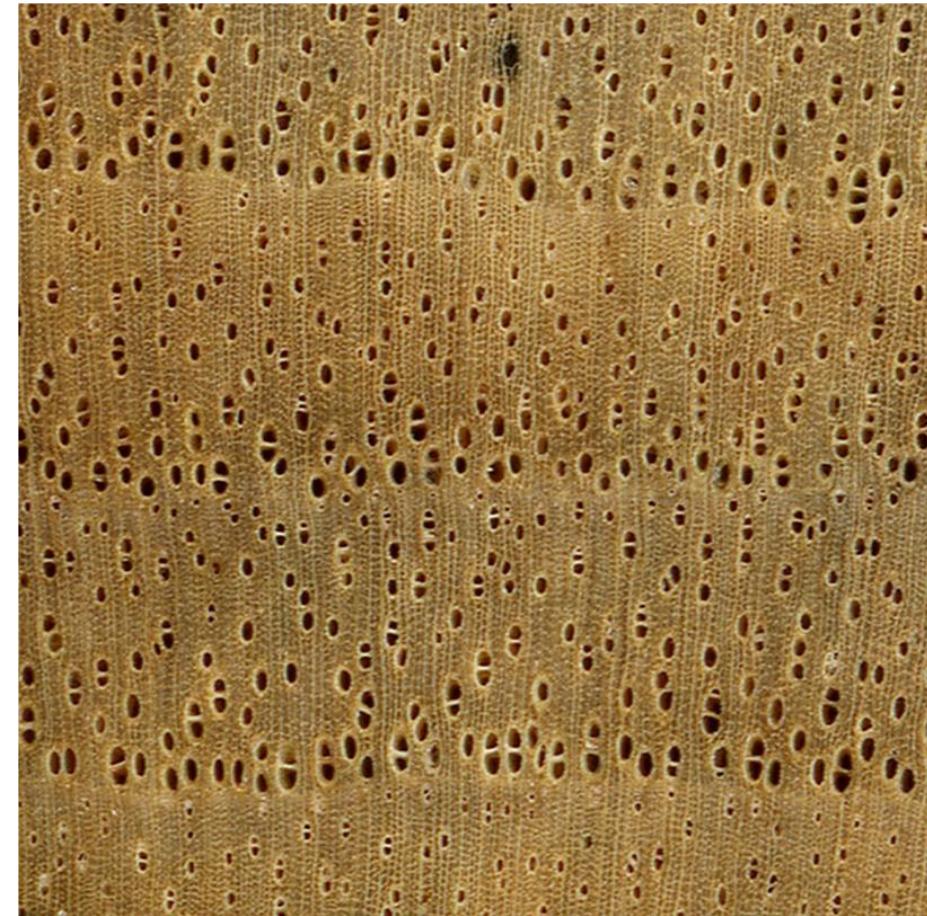
Red oak (*Quercus rubra*)



(<http://www.britannica.com/EBchecked/media/56305/Transverse-section-of-northern-red-oak-a-ring-porous-hardwood>)

# Хагас цагираг хэлбэрийн нүх сүв

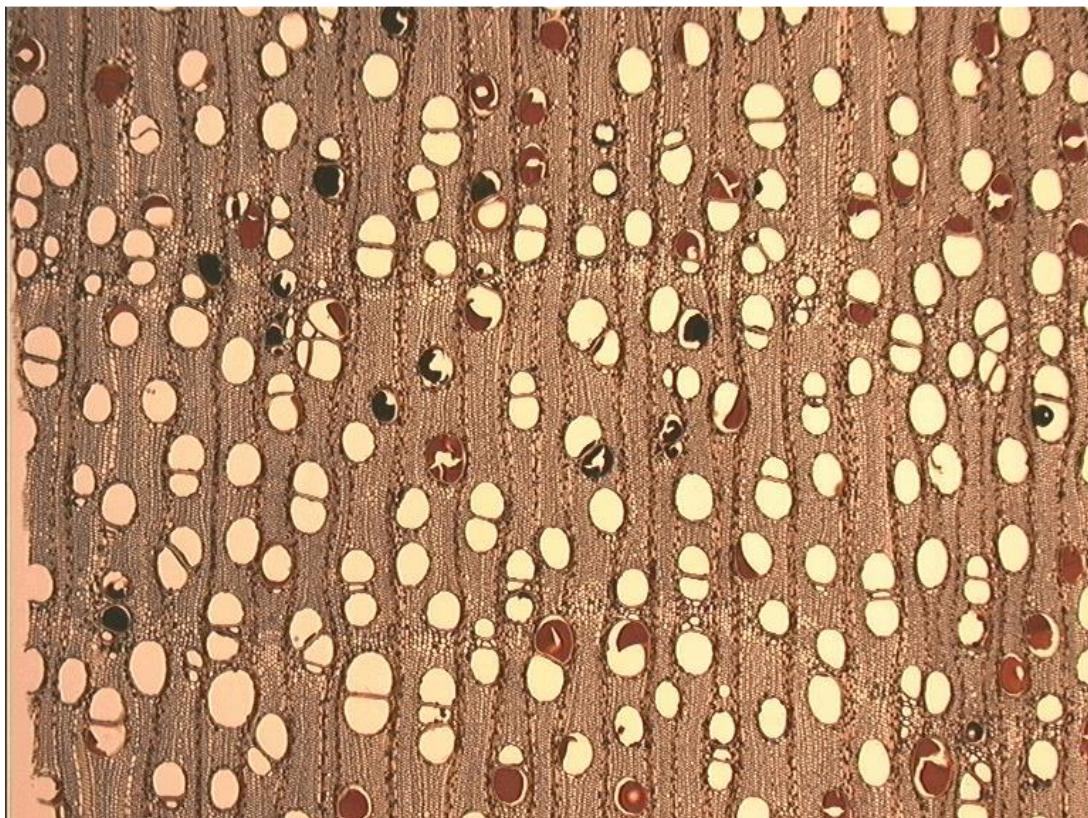
- Persimmon, White Ebony  
(*Diospyros virginiana*)
- Цагираг хэлбэрийн болон сарнисан нүх сүвийн хоорондох хэлбэр



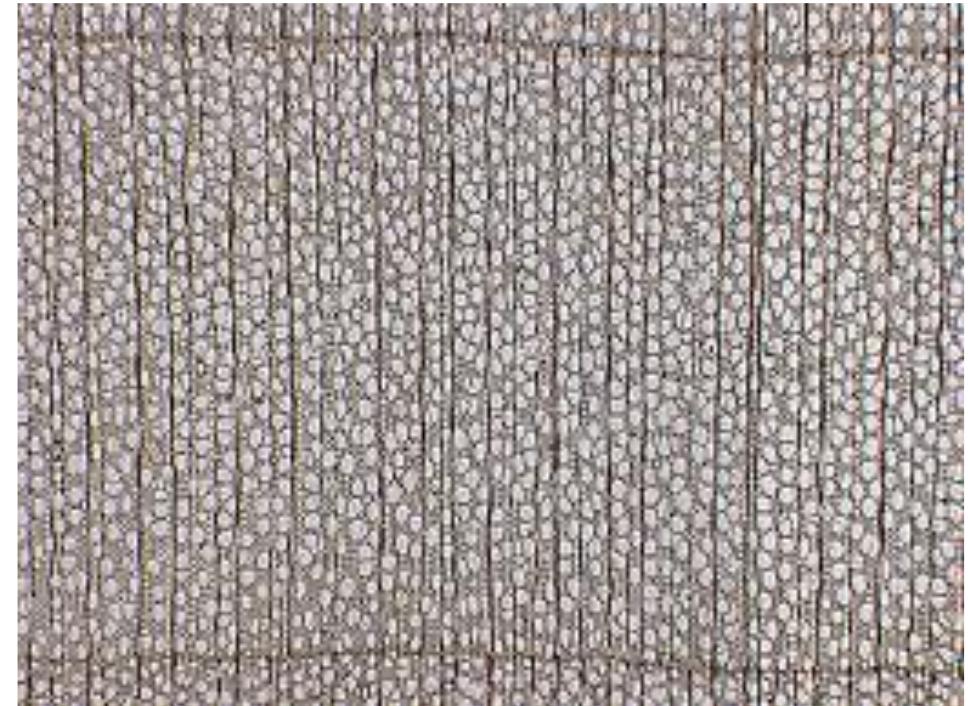
(<http://www.wood-database.com/lumber-identification/hardwoods/persimmon/>)

# Сарнисан хэлбэртэй нүх сүв

*Swietenia macrophylla* King (Echtes Mahagoni,  
true mahogany, caoba)

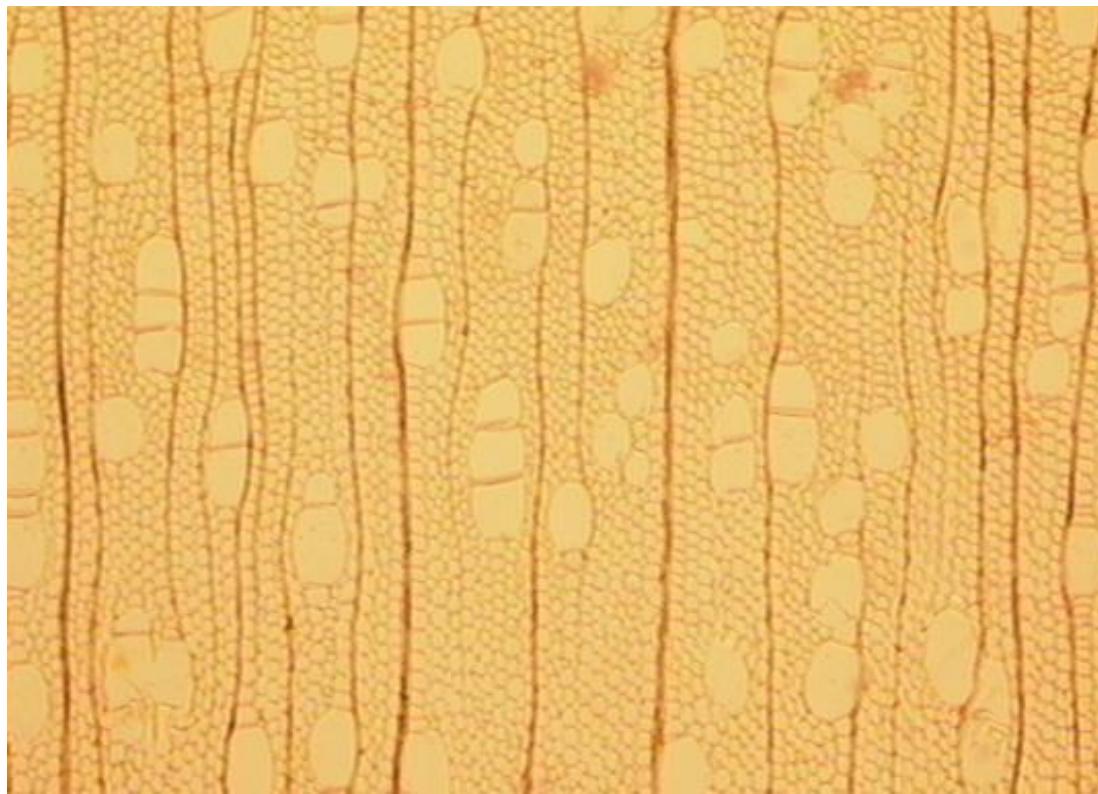


*Liquidambar styraciflua* L. (Red gum, sweet gum)

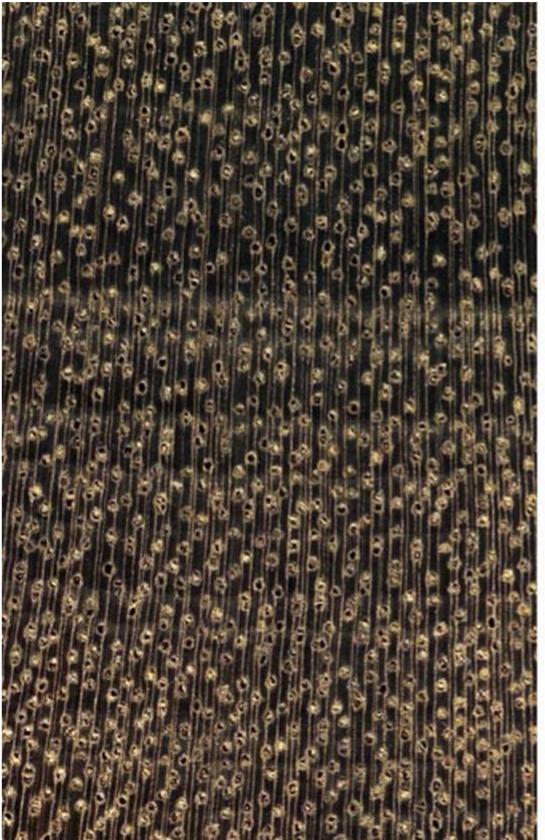


(<http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/wood/english/melswmac.htm>)

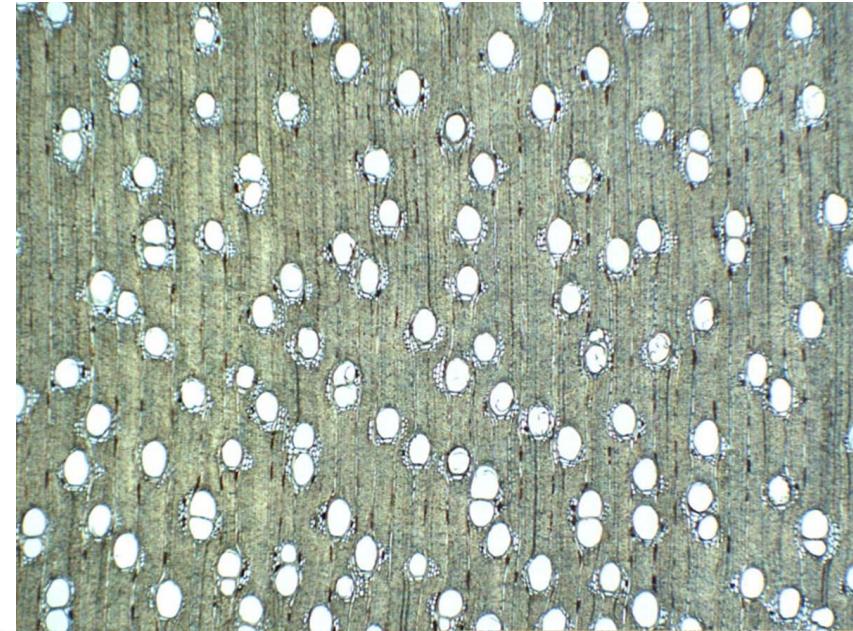
Хусны хөндлөн огтлолд харагдах байдал (x150 өсгөлт)



# Greenheart



хөндлөн



Босоо



тууш

# Тилозис

- Тилозис нь нүх сүвийн бүтэц дамжуулах үүргээ зогсооход үүсдэг бүтэц юм өөрөөр хэлбэл навчит модны ишний голын хатуу хэсэг буюу *heartwood* үүсч нүх сүвийн доторх даралт багасснаар үүсдэг.
- Энэ үед паренхимиин эсийн хана томорч нүх сүвийн ховдолоор шахагдан бөмбөлөг мэт хөөж нүх сүвүүдийг бөглөдөг байна
- Иймээс хатуу модлогтой моднуудын ишний гол хэсгийг нэвтлэхэд хүндрэл үүсдэг.

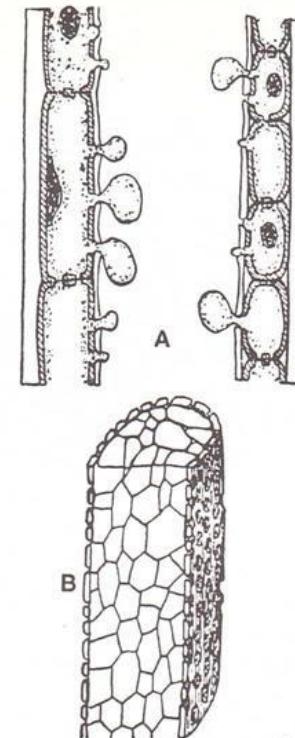
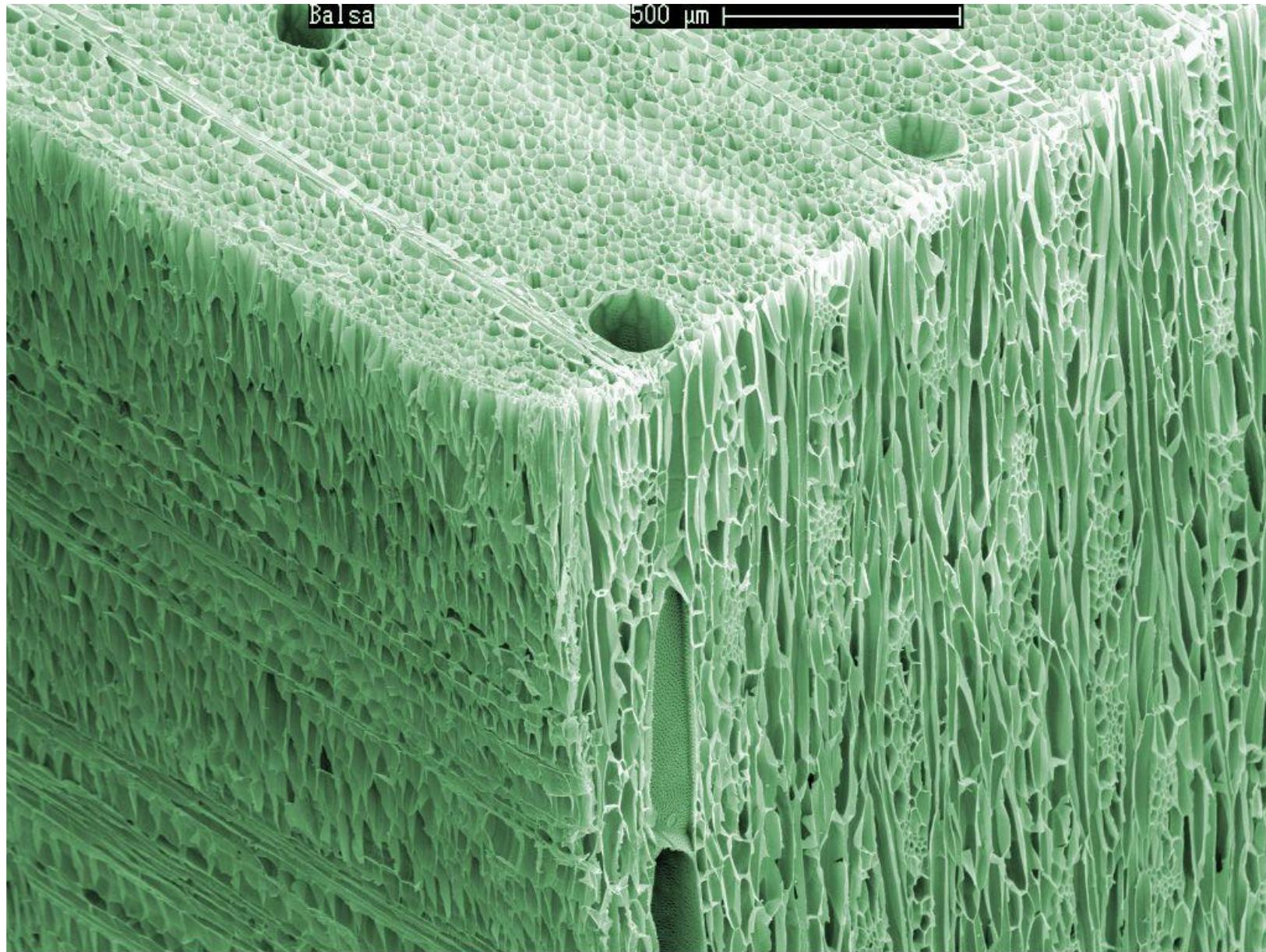


Figure 3.6 Diagrammatic drawing of the development of tyloses: A, stage 1, development from storage cell through the pits into a conducting cell. B, stage 2, tyloses completely blocking vessel.

(Desch & Dinwoodie 1981)



(<http://sciencewise.anu.edu.au/articles/timbers>)

# Хатуу модлогийн паренхими эсүүд

- Анатоми бүтцээр нь зүйл таних түлхүүр болдог
- Хатуу модлогтой моднуудад 2 төрлийн паренхими эсүүд байдаг
- **Апотрахейн паренхими** нь нүх сүвээс хамааралгүй, **паратрахейн паранхими** нь нүх сүвийн эргэн тойронд байрласан
- **Апотрахейн паренхими**
  - Захын
  - Сарнисан
  - Багцалсан
- **Паратрахейн паранхими**
  - Тойрог хэлбэртэй
  - Далавч хэлбэртэй
  - Долгион хэлбэртэй

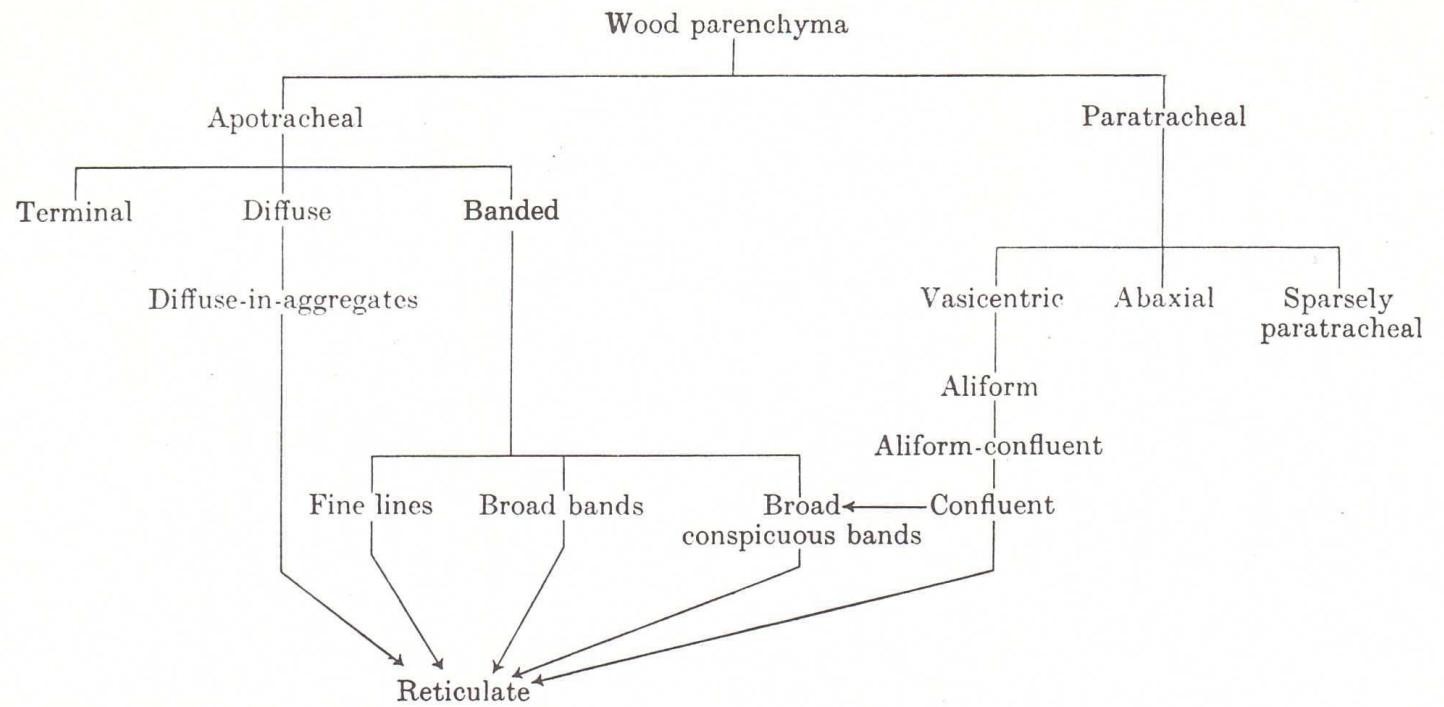


Figure 3.9 Different types of parenchyma. The arrows pointing to 'reticulate' indicate that the parenchyma may also be reticulate. The arrow between 'confluent' and 'broad conspicuous bands' is to indicate that the former may not always be easily differentiated from the latter.

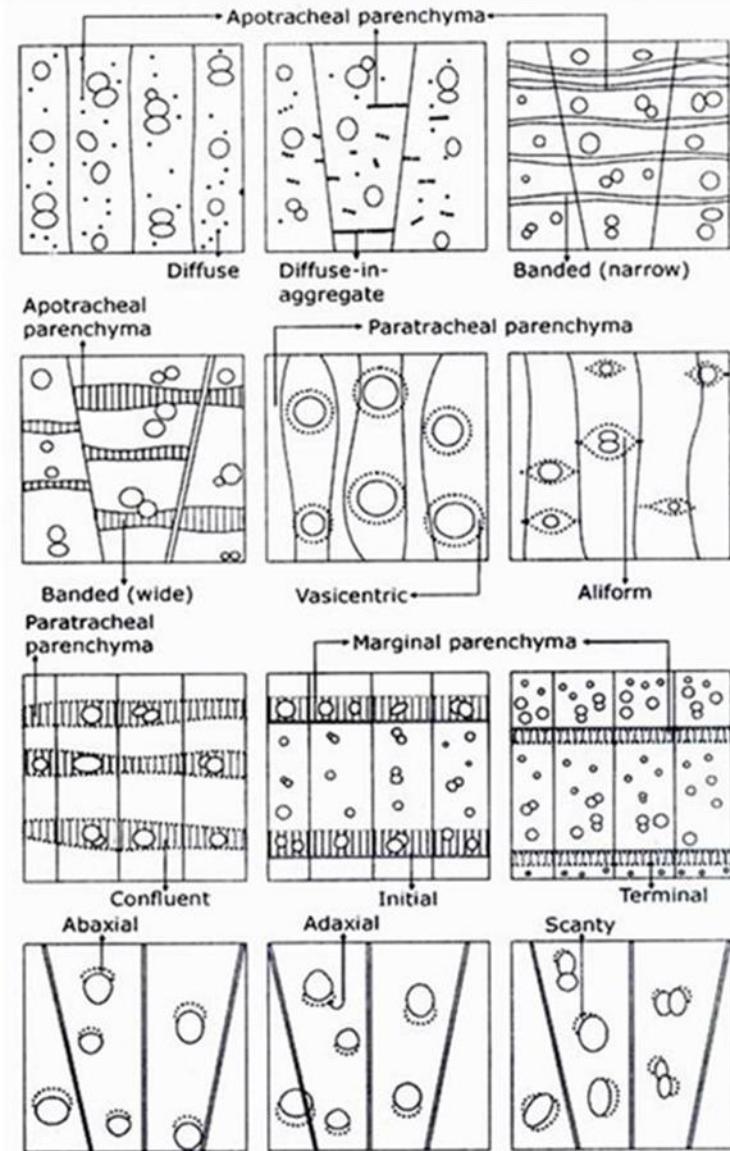


Figure 10.2

Diagrammatic representation of the arrangement of axial parenchyma as seen in cross-section of wood.

# Апотрахейн паренхими

- Нүх сүвээс үл хамаарсан
  - Захын паренхими нь улиралын модлогт хамгийн ойрхон байрлах нарийн багц хэлбэртэй паренхим
  - Сарнисан паренхими нь эслэгийн дунд нэг эгнээгээр энд тэнд байрласан байдаг
  - Багцалсан паренхими нь нүх сүвээс хамааралгүй түүнд босоо чиглэлд үе үүсгэн байрласан байдаг.

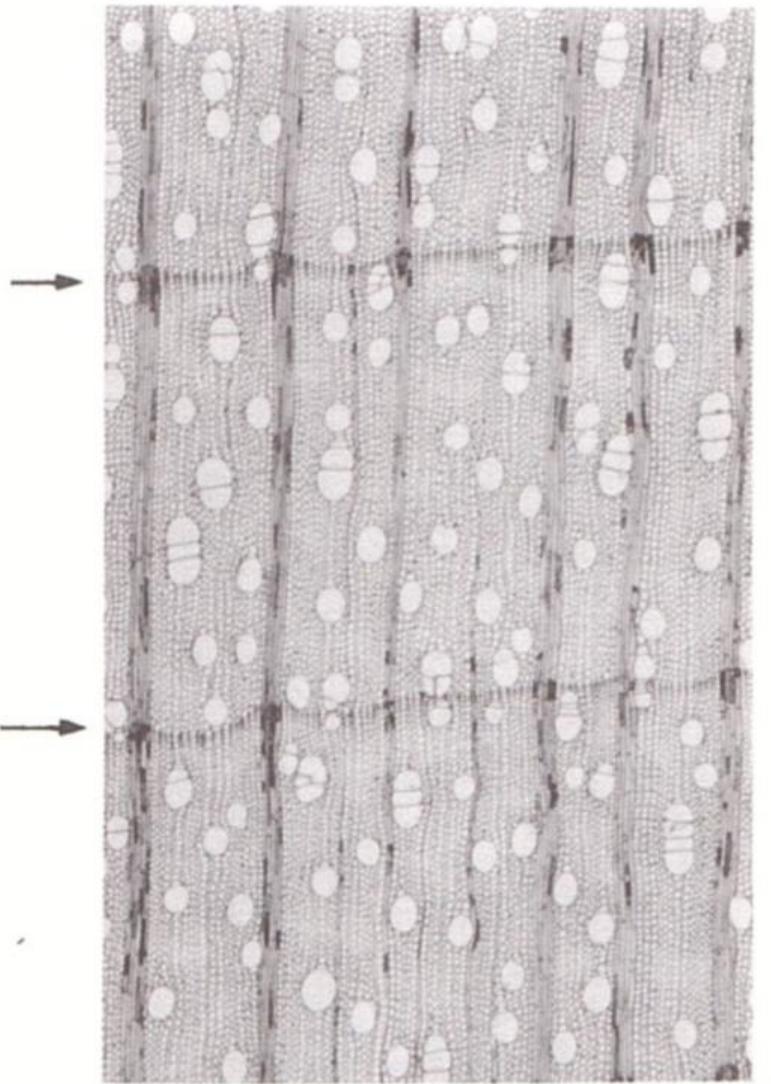


Figure 3.10 Transverse section of sycamore ( $\times 25$ ) showing conspicuous bands of terminal parenchyma (see arrow). (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)



Figure 3.11 Transverse section of pear ( $\times 25$ ) showing diffuse parenchyma. (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)



Figure 3.13 Transverse section of makoré ( $\times 25$ ) showing fine lines of banded parenchyma, which is also reticulate. (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

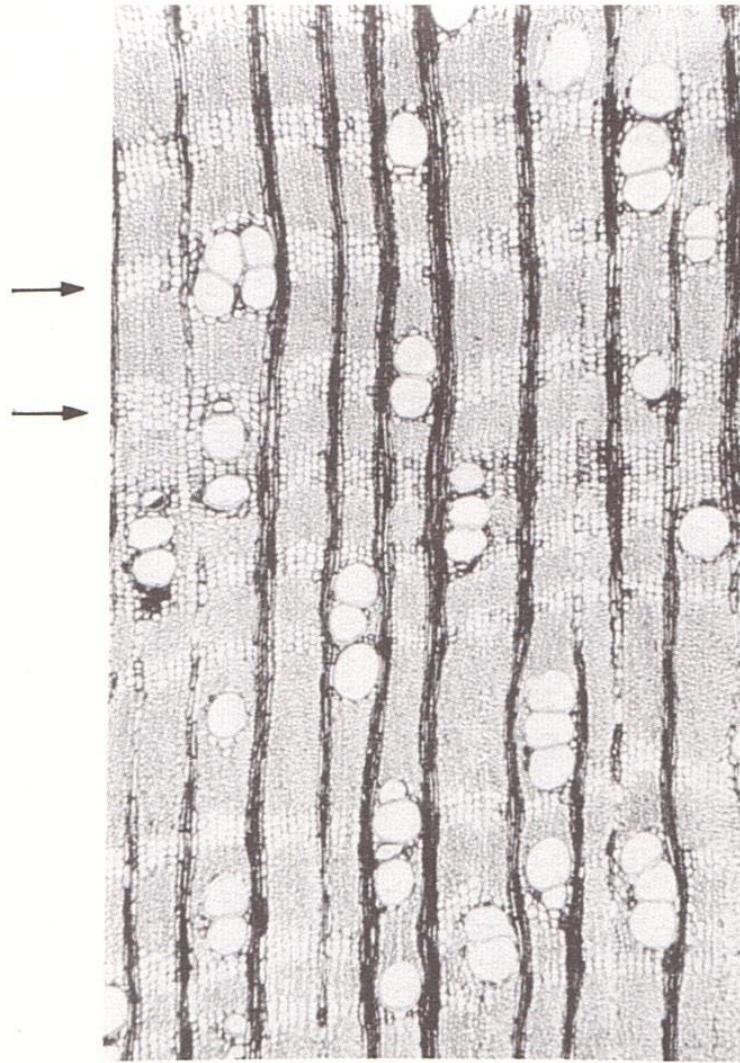


Figure 3.14 Transverse section of sapele ( $\times 25$ ) showing broad bands of banded parenchyma (see arrows). Note the radial arrangement of the vessels. (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

# Паратрахейн паренхими

Нүх сүвийн эргэн тойронд байрласан паренхими эсүүд

- тойрог хэлбэртэй паренхими нь нүх сүвийг тойрон байрласан
- Далавч хэлбэртэй нь хөндлөн огтолол дээр босоо чиглэлд далавчтай мэт хэлбэртэй харагдах ба ромбо дүрстэй гэж хэлж болно
- Долгион хэлбэртэй буюу паренхимиин босоо тусгал нь бөөгнөрсөн долгионтой мэт харагдана

### Багц хэлбэртэй

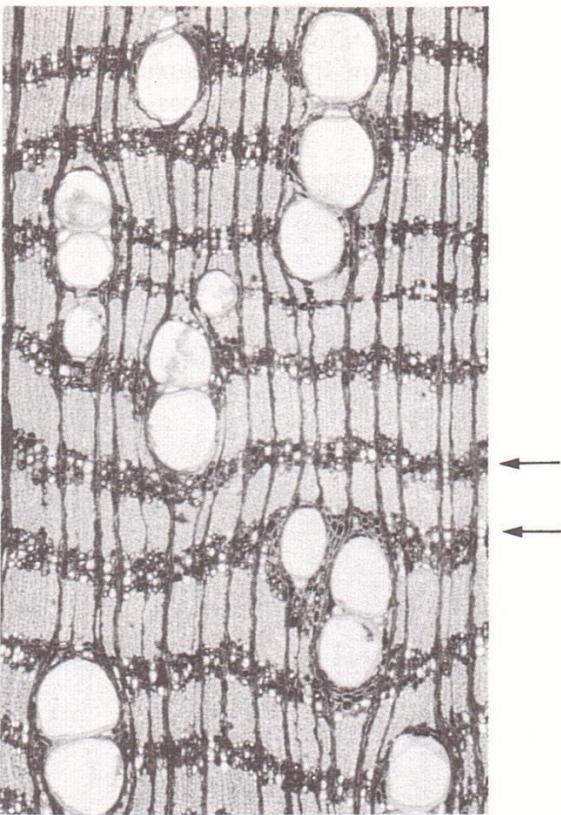


Figure 3.15 Transverse section of ekki ( $\times 25$ ) showing broad conspicuous bands of banded parenchyma (the dark lines indicated by arrows). (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

### Тойрог хэлбэртэй

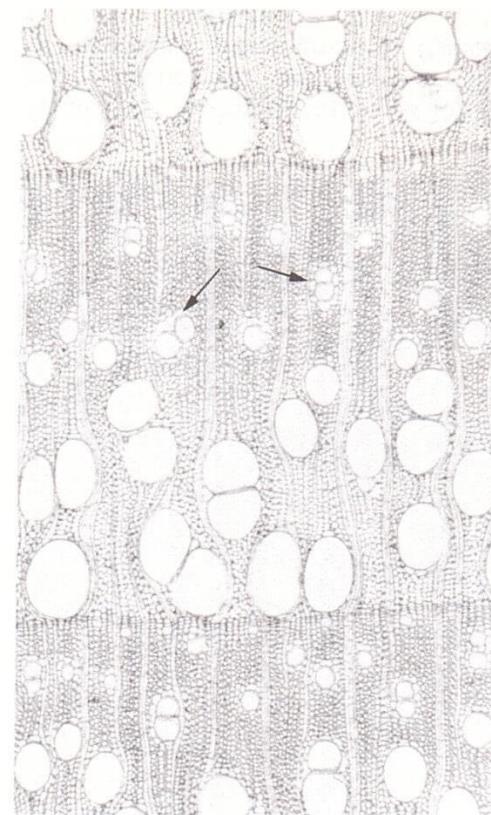


Figure 3.16 Transverse section of ash ( $\times 25$ ) showing vasicentric parenchyma (see arrows). (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

### Долгион хэлбэртэй



Figure 3.21 Transverse section of Indian rosewood ( $\times 25$ ) showing confluent parenchyma (the light-coloured bands joining up the vessels) that is progressively more continuous outwards in each growth ring. (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

### Далавч хэлбэртэй

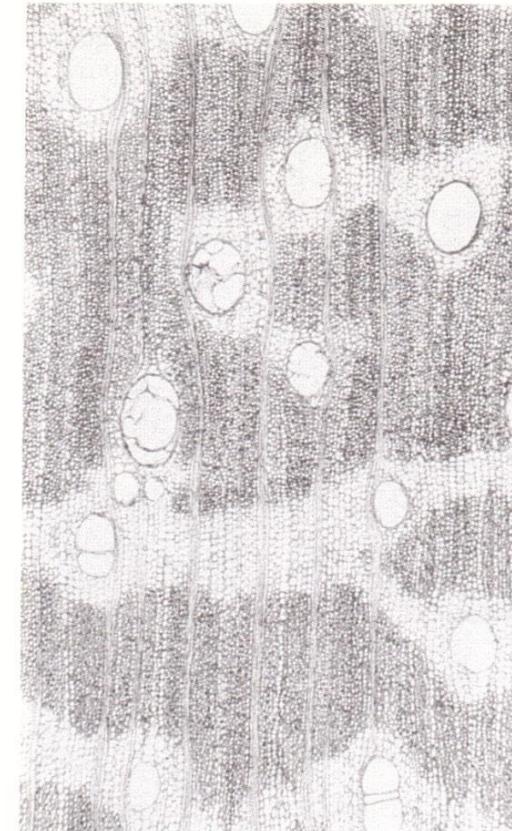
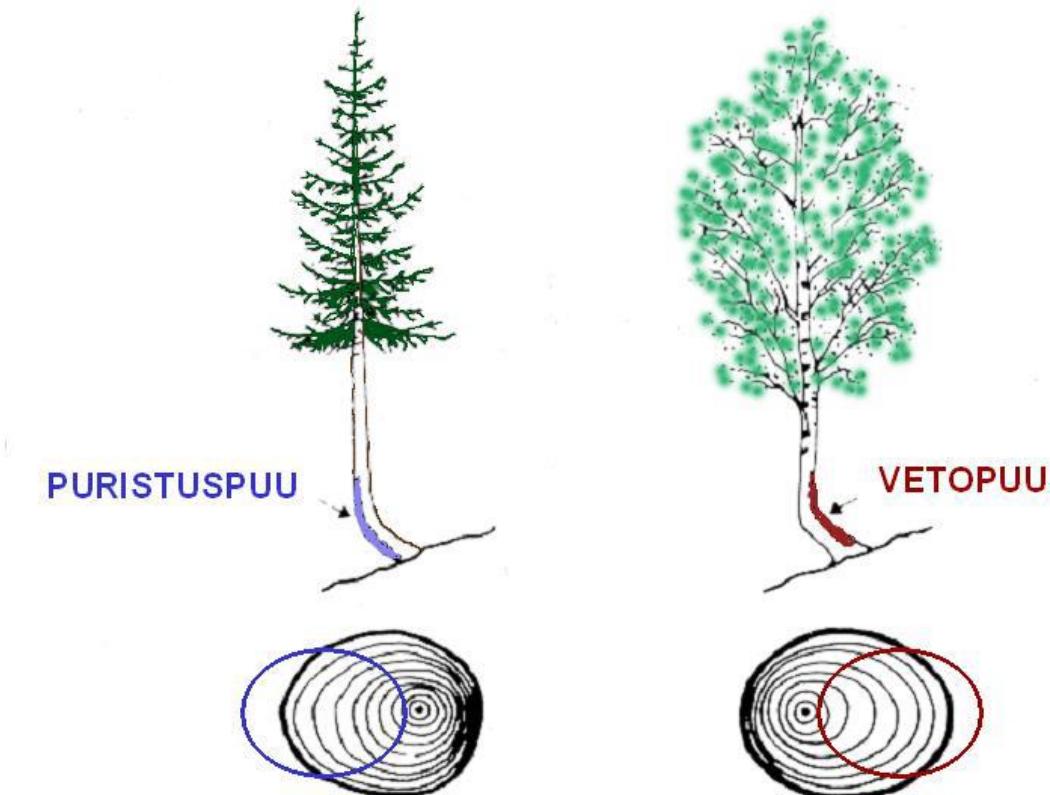


Figure 3.22 Transverse section of iroko ( $\times 25$ ) showing the aliform-confluent type of parenchyma. (Photograph by Princes Risborough Laboratory, © Crown Copyright.)

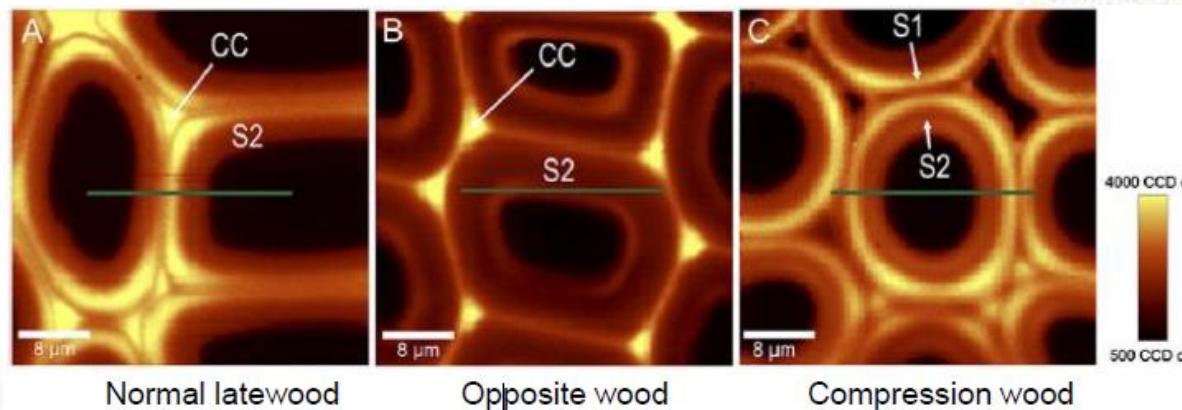
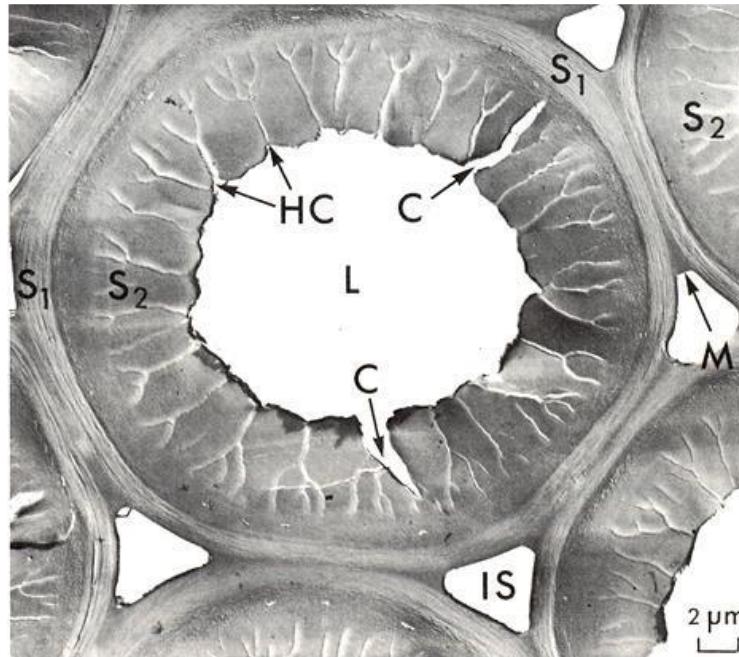
# Модлогт үүсэх өөрчлөлтүүд

- Модлогт үүсэх өөрчлөлтүүд нь тухайн мод өөрийн буруу байрласан иш болон мөчрөө өөрчлөн буцаан цэх байрлалд оруулах үед үүсдэг өөрчлөлтийг хэлнэ.
- Зөөлөн модлогтой модод буюу шилмүүст модонд шахагдсан хэсэгт нягтрал үүсэх маягаар
- Хатуу модлогтой буюу навчит модонд сунасан хэсэгт суналт үүсэх маягаар тус тус өөрчлөлт ордог

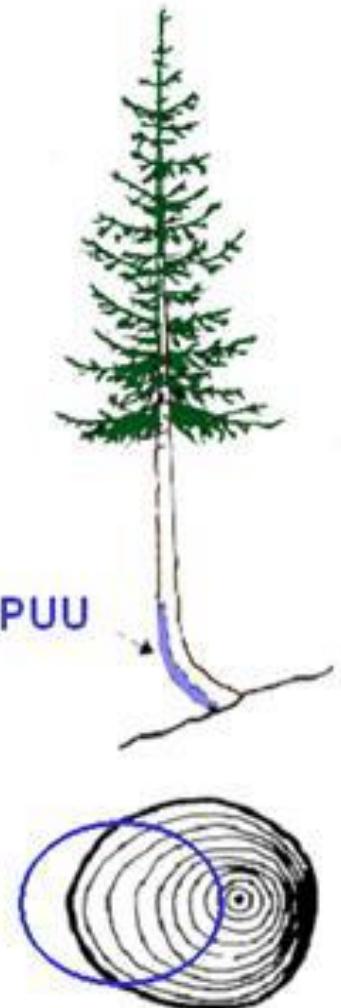


# Модны нягтрал

- Иш болон мөчирний доод хэсэгт модлог нягтарснаар үүсдэг
- Хүнд, хатуу илүү нягт модлогтой
- Трахейдүүд нь богинохон, эсийн хана зузаан
- Энгийн модлогийн эстэй харьцуулахад эсийн хананы 1р давхарга нь илүү зузаан, 2р давхаргын мушгиран өнцөг нь их, 3р давхарга байхгүй болсон байдаг
- Целлюлозийн агууламж бага, лигнин ихтэй
- Эслэгийн хөндлөн огтоллод эс хоорондын зйтай
- Эсийн хананы 1р давхарга нь лигниний агууламж өндөр

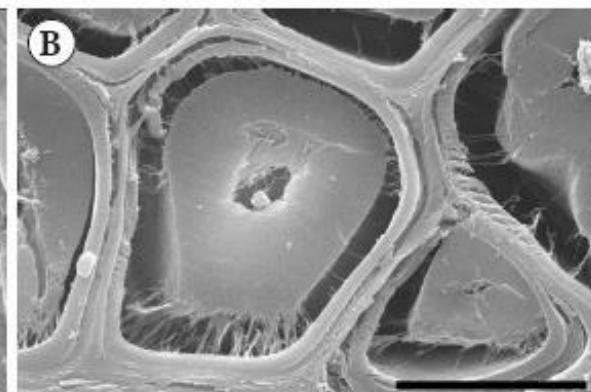
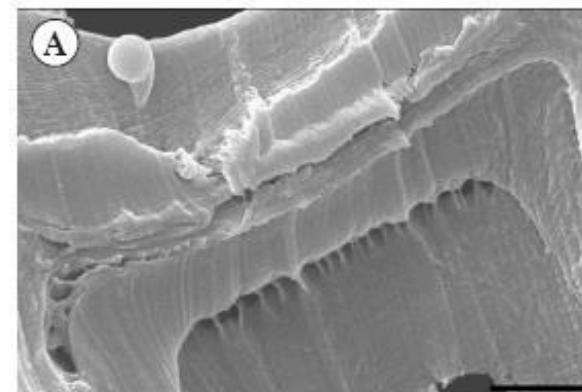
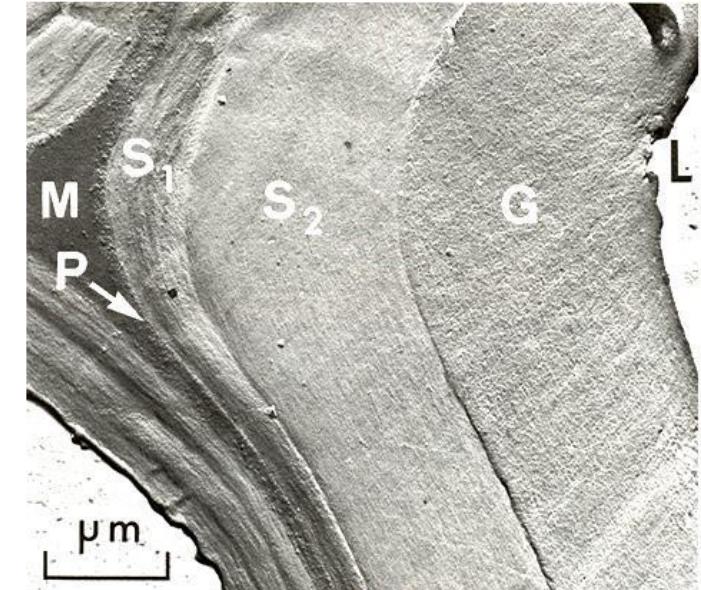
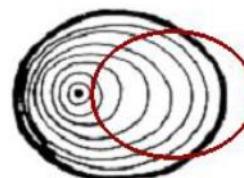
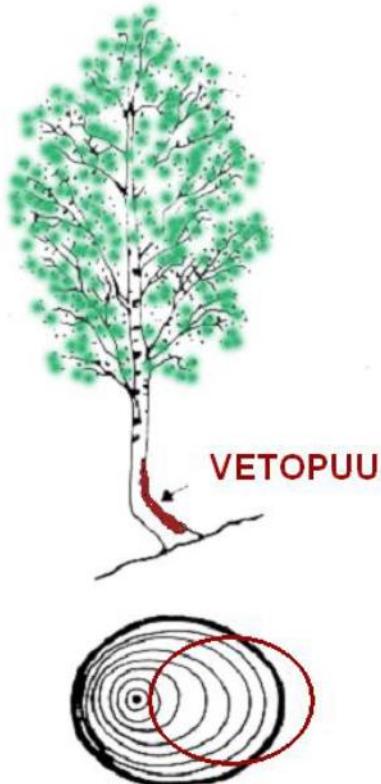


PURISTUSPUU



# Модны тэлэлт

- Модны иш эсвэл мөчир тахийсан хэсгийн дээд талд модлог тэлэх маягаар үүсдэг
- Энгийн модлогоос илүү их эслэг агуулдаг
- Эслэгүүд нь уртассан, нарийн диаметртэй
- Эсийн хана нь зузаан
- Хатуу модлог нь нүх сүв нь багассан мөн жижигхэн байдаг
- Желатин маягийн давхарга үүсгэсэн байдаг нь найрлагын хувьд цэвэр, талсжсан целлюлозоос тогтсон байдаг
- Иймээс целлюлозийн найрлага өндөр, лигнин багатай байдаг



# ҮНШИХ материалууд

## Databases:

- Wood Anatomy ([http://www.woodanatomy.ch/ident\\_key.html](http://www.woodanatomy.ch/ident_key.html))
- The wood database (<http://www.wood-database.com/wood-identification/>)
- Inside wood (<http://insidewood.lib.ncsu.edu/search?11>)