

## Tēma 12

## 12. KOMPOZĪTMATERIĀLI. DABAS KOMPOZĪTI.

Dzīvā daba – augu un dzīvnieku valsts organismi – savas eksistences nodrošināšanai izmanto dažādus, bieži vien sarežģītas uzbūves veidojumus, kurus iespējams apskatīt caur *materiālzinātnes* prizmu.

To vidū īpašu interesi izraisa tādi veidojumi kā *koksne, kauls, āda, asinsvadi, muskuļu šķiedras*. Šie veidojumi pilda plašu funkciju spektru, kuru nodrošina atbilstošas īpašības. Šinī spektrā ietilpst ne tikai funkcijas un īpašības, kas tieši nepieciešamas dzīvības procesu norisei, bet arī tādas, kas raksturīgas *materiālam*: stiprība, deformējamība, ilgizturība, noguruma izturība u.c.

Pēc uzbūves šie veidojumi ir uzskatāmi par dabas veidotiem kompozītiem. Pieredze rāda, ka daudziem no nosauktiem veidojumiem, pateicoties to ārkārtīgi racionālai uzbūvei, šo īpašību rādītāji ir ļoti augsti.

Tāpēc šo veidojumu struktūra un īpašību rādītāji joprojām tiek intensīvi pētīti. Viens no galvenajiem iemesliem – vēlēšanās šo materiālu struktūras īpatnības iemiesot cilvēka radītajos kompozītos.

Mēs aplūkosim tikai divus no dabas kompozītus: *koksni* un *kaulu*.

### 12.1. KOKSNE

#### 12.1.1. KOKS

Koksnes avots ir augu valsts pārstāvis – *koks* – daudzgadīgs augs, kam ir spēcīgi attīstīts (ne zemāks par 2 m) pārkoksnējies *stumbrs* un pārkoksnējušās *saknes*.

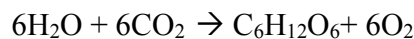
Taču koks nebūt nav tikai izejas materiāls koksnes iegūšanai.



Koka audžu (mežu, parku un tml.) funkcijas ir ārkārtīgi plašas. Tās ir absolūti nepieciešamas dzīvības nodrošināšanai uz zemes.

Koka augšanas procesā sarežģītu *fotosintēzes* procesu rezultātā, koks veido savu ķermeni, piesaistot no apkārtējās vides ogļskābo gāzi CO<sub>2</sub>.

Maksimāli vienkāršojot varam aplūkot šādu shēmu:



Saules gaismas iespaidā koka šūnās reakcijās ar ūdeni ogļskābā gāze pārvēršas *cukurā* C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> (kas pēc tam transformējas citās oglekli, skābekli un ūdeņradi saturošos produktos, kas veido šūnas) un izdala *skābekli* O<sub>2</sub>.

Zaļie augu dzīvības norises (to vidū noteicošā loma ir kokiem) ir praktiski vienīgās, kas atbrīvo zemeslodi no ogļskābās gāzes un nodrošina mūs ar skābekli. Viens hektārs lapkoku meža vasaras laikā piesaista ap 2 tonnām ogļskābās gāzes un izdala ap 1,4 tonnām skābekļa.

Koki efektīvi saista no apkārtējās vides *putekļus*. Šis pats hektārs meža vasaras laikā spēj atbrīvot vidi no 0,5 tonnām putekļu.

Koka lapotne aizsargā zemi no saules stariem, novēršot gan zemes virskārtas *pārkaršanu*, gan tās *izžūšanu*. Meža sakņu sistēma efektīvi regulē *ūdens apriti*.

Gaistošām vielām, kuras izdala koki (fitoncīdiem, ēteriskām vielām) ir *baktericīdā* iedarbība.

Visbeidzot vispārzināma ir mežu rekreatīvā un *relaksējošā* iedarbība.

Patlaban meži klāj ap 27% no visas sauszemes (senos laikos – līdz pat 70%). Pasaules mežu gada pieaugums ir  $2 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup> apjomā, kas ir ap 0,5 m<sup>3</sup> koksnes uz vienu cilvēku.

Latvijas mežu platība ir  $2,88 \cdot 10^6$  ha, kas sastāda ap 45 % no Latvija kopplatības

Koksnes gada pieaugums Latvijā  $16,3 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup> (5,5 – 6,3 m<sup>3</sup>/ha).

Gadā drīkst izcirst ne vairāk kā  $10 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>, faktiski tiek izcirsts vairāk - ap  $13 \cdot 10^6$  m<sup>3</sup>. Rezultātā kopējā meža krāja (250 – 300 m<sup>3</sup>/ha laba meža, 170 m<sup>3</sup>/ha meža zemes) var samazināties. Tā kā 2/3 meža produkcijas tiek eksportētas, izcirsta tiek meža labākā daļa un kopējā meža kvalitāte samazinās.



Latvijā sastopamas vairākas Eiropas zonai raksturīgas koku sugas ( 11.1. tabula)

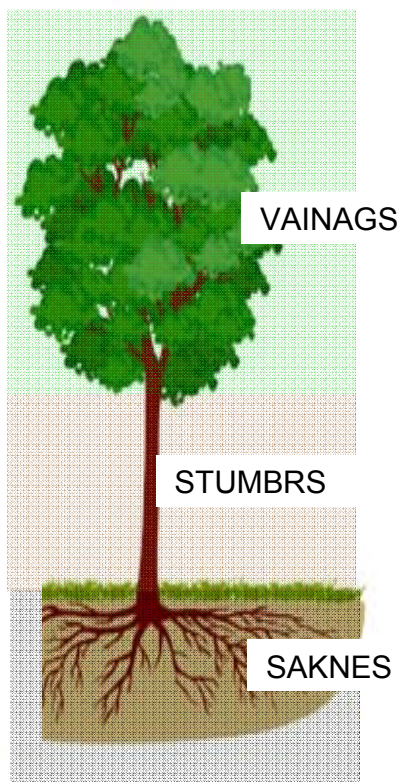
11.1. tabula

Svarīgākās Latvijā sastopamās koku sugas un to procentuālais sastāvs

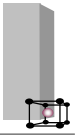
	Koka suga	%
•	PRIEDE	40
•	BĒRZS	25
•	EGLE	19
•	ALKSNIS	8
•	APSE	6
•	OSIS	0,6
•	OZOLS	0,4
•	PĀRĒJĀS (kļava, goba, liepa u.c.)	< 1

### 12.1.2. KOKA UZBŪVE

Augošs koks sastāv no trim pamatsastāvdaļām (12.1.att.): *vainaga*, *stumbra* un *saknēm*.



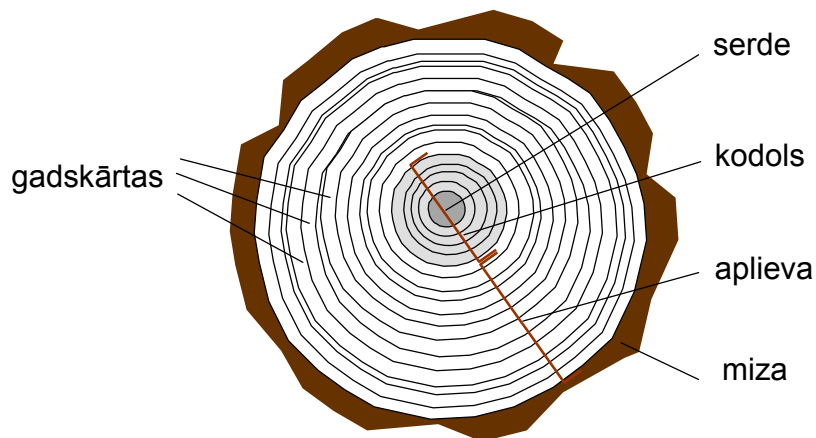
12.1.att. Augoša koka pamatsastāvdaļas



*Vainagu* veido *zari* un *lapas* (skuju kokiem – *skujas*). Lapās un skujās norit visi svarīgākie koka dzīvību nodrošināšanas procesi, kuru gala process ir koksnes masas veidošanās.

*Stumbrs*, balsta vainagu. Pa stumbra struktūrā esošiem mikrokanāliem (kapilāriem) notiek ūdens transports no *saknēm*, kā arī lapās notikušā barības vielu transports uz leju, kur uzkrājas stumbra ārējā daļā. Rezultātā stumbra diametrs palielinās.

Aplūkosim stumbra šķērs griezumu (12.2.att.).



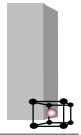
12.2.att. Koka stumbra šķērs griezums

Tajā ar neapbruņoti saskatāmas koncentriskas joslas, kas atbilst stumbra koksnes daļai, kas izveidojusies katra gada laikā – *gadskārtas*.

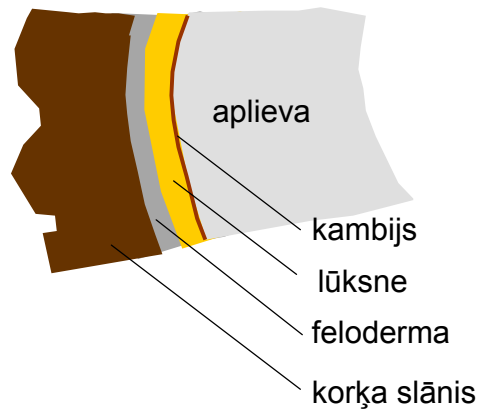
Koksnes centrā izvietojas *kodols*, ko veido pirmo 5 – 10 gadu gadskārtas (primārā vai „jaunības” koksne) ar *serdi* centrā (to veido atmirušas plānsienu koksnes šūnas). Koksnes kodols ir mehāniski vājāka stumbra šķērs griezuma daļa.

Tālāk seko jaunāku koka gadskārtu josla – *apļieva*, kas ir mehāniski izturīgākā stumbra daļa.

Virzoties uz āru, apļieva robežojas ar grūti saskatāmu plānu joslu - *kambiju* (12.3.att.). Kambijā, kas pēc būtības ir vienīgā „dzīvā” koka daļa, notiek koksnes šūnu



dalīšanās. Virzienā uz iekšpusi notiek koksnes šūnu veidošanās, bet virzienā uz ārpusi koka mizas daļas šūnu veidošanās.



12.3.att. Koka stumbra šķērsgriezums mizas rajonā

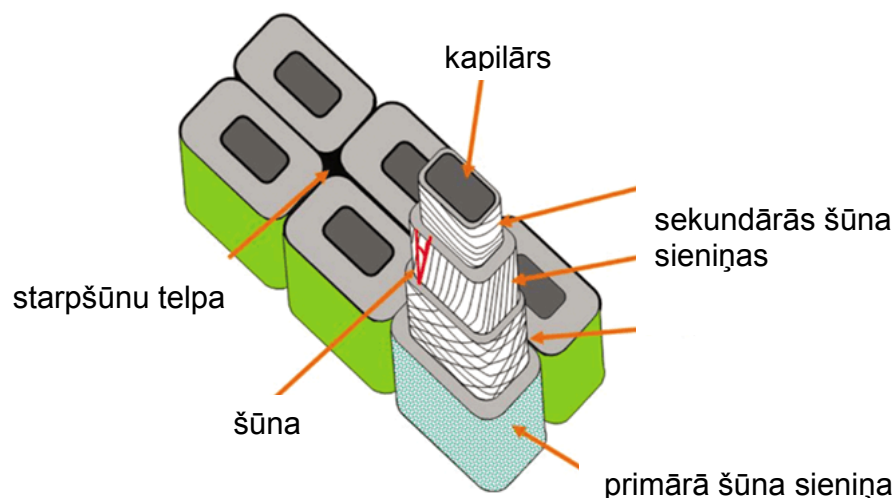
Nākamās ir *lūksnes* kārtā, kas veic koka barības vielu maģistrāles funkcijas, un *feloderma*, kas ir barības vielu rezervju krātuve. No āruses koku no mehāniskās iedarbības, un apkārtējās vides iedarbības aizsargā mizas *korķa* slānis.

### 12.1.3. KOKSNES UZBŪVE UN ĪPAŠĪBAS

#### KOKSNES STRUKTŪRAS RAKSTUROJUMS

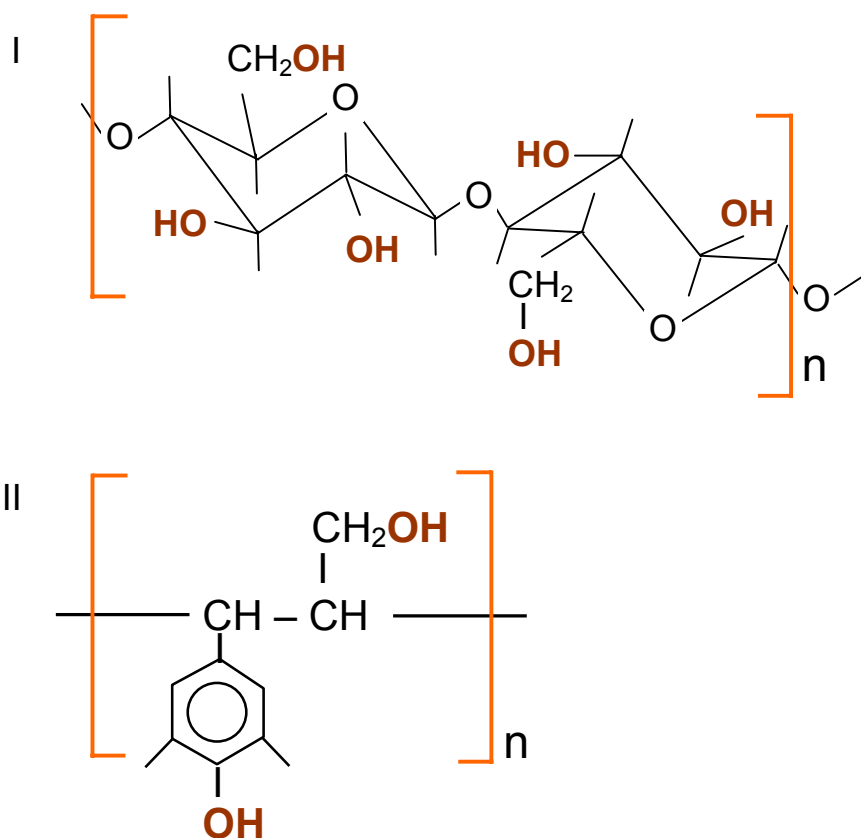
*Koksne* ir tā koka daļa, kura atrodas stumbra, zaru un sakņu aplievā un kodolā. Vislielāko praktisko interesi, protams, izraisa stumbra koksne.

Mikroskopiskā līmenī koksnes struktūrā saskatāmas *šūnas* (12.4.att.).



12.4.att. Koksnes šūnas

Šūnu sieniņas sastāv pamatā no *celulozes* (lineārs polisaharīds, 12.5.att., I; skat arī Tēmu 9) un *lignīna*, sarežģītas neregulāras uzbūves sazarota polimēra (12.5.att., II).



12.5.att. Celulozes un lignīna struktūra

Bez tam koksnes šūnu sieniņās ietilpst arī *hemicelulozes*, polimēri ar sazarotām makromolekulām, kas pēc ķīmiskās uzbūves ir līdzīgas celulozei.

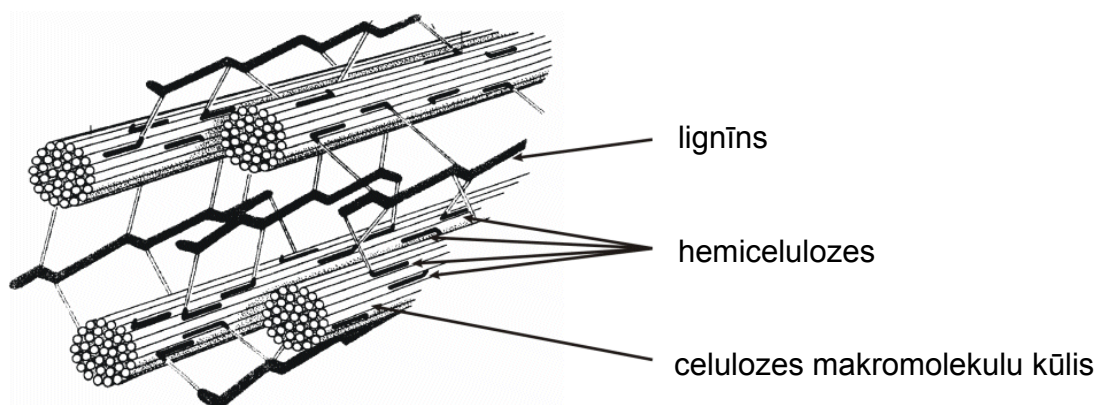
Miņēto komponentu saturs šūnu sieniņās dažādām koka šķirnēm atšķiras un atrodas sekojošās robežās: celuloze: 43 – 58% , lignīns: 19 – 29%, hemicelulozes 20 – 32%.



Šūnas sieniņas ir sarežģītas uzbūves un sastāv no vairākiem *slāņiem*: *ārējā* primārā slāņa un vairākiem *sekundāriem* slāņiem (12.4.att.).

Šos slāņus veido celulozes lineārās makromolekulas, kas izkārtotas sakārtotos (kristāliskos) kūļos (12.6. att.). Lignīna makromolekulas aizņem telpu starp celulozes kūļiem. Savukārt hemicelulozes makromolekulas izkārtotas celulozes makromolekulu kūļos.

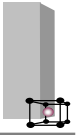
Šāds komponentu makromolekulu izkārtojums telpā, iespēja veidoties noturīgām ūdeņraža saitēm starp makromolekulām, kā arī makromolekulu kopuma racionāla orientācija katrā no šūniņas sieniņas slāņiem piešķir šūnu sieniņām sevišķi lielu stiprību un vienlaicīgi arī pietiekamu deformēšanās spēju.



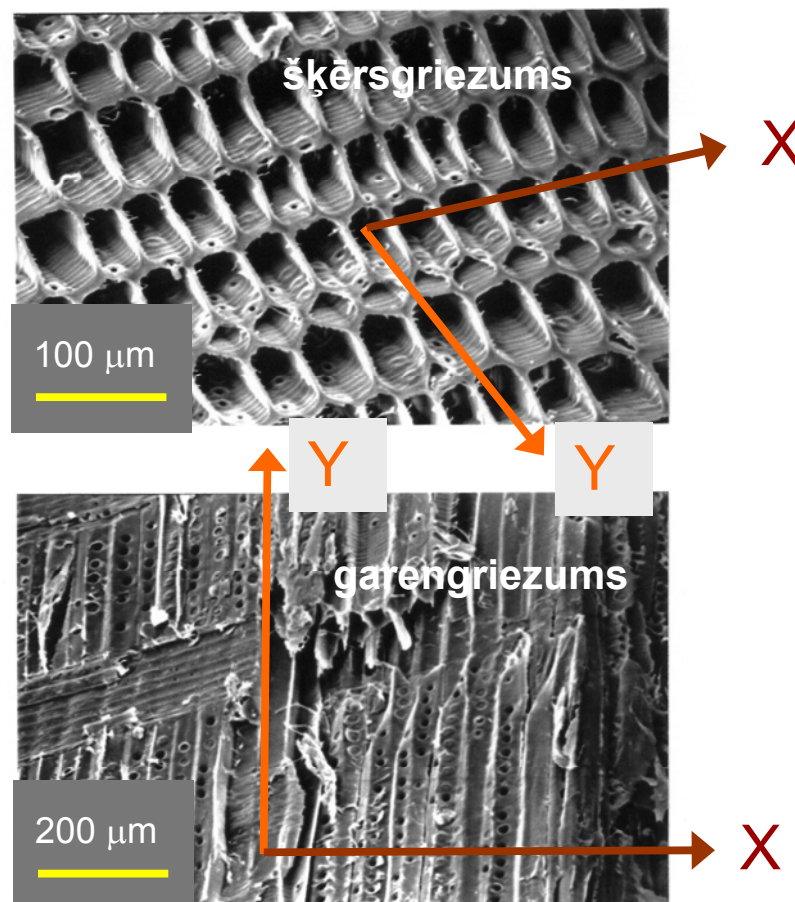
12.6.att. Celulozes, lignīna un hemicelulozu makromolekulu savstarpējā izvietojuma shēma koksnes šūnu sieniņās.

Šūnas vidū atrodas *kapilārs* – telpa, pa kuru var tikt transportēts ūdens ar tajā izšķīdušajām vielām.

Šūnu kapilāri ir orientēti koka stumbra ass virzienā un veido koksnei raksturīgo *šķiedraino* struktūru.



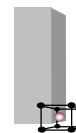
Šūnu saistība savā starpā nav tik izturīga, kā pašu šūnu sieniņu stiprība. Tas ir par iemeslu izteiktai koksnes stiprības rādītāju *anizotropijai*: koksnes stiprība šūnu ass virzienā - *garenvirzienā* ir lielāka nekā *šķersvirzienā* (12.7.att.).



12.7.att. Koksnes mikrofotogrāfija: šķersvirziens – X, garenvirziens - Y

Šūnas izmēri ir nelieli: šķērsizmēri nepārsniedz 10 – 50  $\mu\text{m}$ , šūnu garums (dimensija kapilāra simetrijas ass virzienā) atrodas 0,7 – 3,0 mm robežās.





Vienas gadskārtas robežās (12.8.att., I) šūnu izmēri atšķiras. Gadskārtas daļā, kas tuvāk serdei koka augšana notikusi intensīvi. Tā ir pavasara un vasaras sākuma koksne – *agrīnā* koksne. Šīs koksnes šūnas ir lielākas nekā vēlīnās koksnes šūnas (12.8.att., II).

Vissakārtotākā un tātad arī mehāniski izturīgākā koksnes stumbra daļa parasti ir aplievas daļa.

Koksnes uzbūve šūnas līmenī – *mikrolīmenī* un šūnu izkārtojums koksnes stumbra līmenī – *makrolīmenī* liek uzskatīt koksni par ārkārtīgi racionāli būvētu *dabas kompozītmateriālu* ar izteikti atšķirīgu struktūrelementu izvietojumu stumbra (zaru) garenvirzienā un šķērsvirzienā. Šī īpatnējā koksnes uzbūve, protams, visupirms nepieciešama, lai nodrošinātu koka kā dzīva organisma sekmīgu funkcionēšanu. Taču pēc koka „nonāvēšana” tā parādās no koksnes izgatavotos izstrādājumos un pilnībā nosaka koksnes kā materiāla īpašību kopumu.

Koksnes struktūras pētījumi un koksnes uzbūves principu iemiesošana jaunizveidojamos kompozītmateriālos ir materiālzinātnes speciālistu uzmanības lokā.



I



II

12.8.att. Koksnes gadskārtas (I); vēlīnās un agrīnās koksnes šūnas (II)



## KOKSNE UN ŪDENS

*Koksne* ir tā koka daļa, kura atrodas *stumbra*, *zaru* un *sakņu* aplievā un kodolā. Vislielākā praktiskā nozīme ir stumbra aplievas koksnei.

Koksnes kapilārā struktūra un ķīmiskā uzbūve, kas piešķir koksnes struktūras elementiem lielu virsmas enerģiju, padara koksni par materiālu, kas ir savietojams ar ūdeni.

Izšķir *brīvo ūdeni*, kas atrodas šūnu kapilāros, un *saistīto ūdeni*, kas atrodas šūnu sienīnās un starpšūnu telpā.

Ūdeni no koksnes aizvāc un ūdens daudzumu koksnē nosaka koksni žāvējot. Brīvo ūdeni iespējams atdalīt vieglāk nekā saistīto.

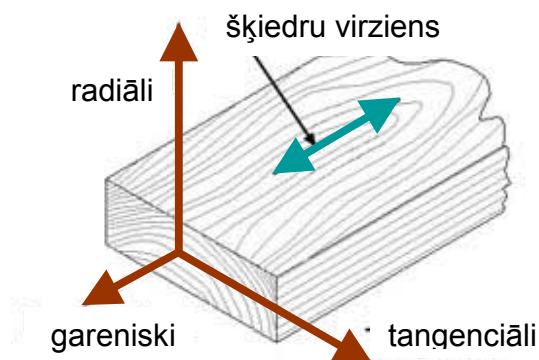
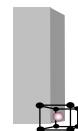
Ūdens daudzumu koksnē izsaka kā *koksnes mitrumu*:  $W = (m - m_0) / m_0$  ( $m$  – mitras koksnes masa,  $m_0$  – absolūti sausas koksnes masa).

Praksē nākas sastapties ar dažādu mitruma saturu koksnē:

	KOKSNES MITRUMA PAKĀPE	mitruma %
•	<i>slapja</i> koksne – koksne, kas ilgāku laiku atradusies ūdenī	> 100
•	<i>augošs</i> vai <i>tikko cirsts</i> koks	70 - 90
•	<i>gaisa sausa</i> koksne – koksne, kas ilgu laiku žuvusi āra apstākļos	18 - 22
•	<i>istabas sausa</i> koksne – koksne, kas ilgu laiku žuvusi istabas apstākļos	8 - 10
•	<i>absolūti sausa</i> koksne – koksne, kas žāvēta 105 °C temperatūrā	0

Parasti izstrādājumi no koksnes tiek izmantoti *gaisa sausā* stadijā (āra konstrukcijas) vai *istabas sausā* stadijā (iekštelpu konstrukcijas), jo mitruma saturam palielinoties koksnes mehāniskās īpašības strauji pasliktinās.

Koksni žāvējot, tā *sarūk*. Sarukums (žāvējot līdz gaisa sausam stāvoklim) garenvirzienā ap 0,1 % ; radiālā virzienā: 3 – 6 %, tangenciālā virzienā: 6 – 12 %.



12.9. att. Galvenie virzieni koksņē attiecībā pret šķiedru virzienu

Sarukuma rezultātā žūstot koksnes izstrādājumi var *samesties* un *sagriezties* kā arī *plaisāt*.

Sausa koksne, atrodoties vidē ar paaugstinātu mitruma saturu, strauji uzsūc mitrumu. Notiek sarukumam pretējs process – koksnes *uzbriešana*, kas tāpat saistīts ar izstrādājuma konfigurācijas izkropļošanu.

### KOKSNES TILPUMMASA

*Koksnes* tilpummasu  $m_K$  veido trīs svarīgākās komponentes: koksnes viela (KV), ūdens ( $\bar{U}$ ) un tukšumi (gaiss) (G)

$$m_K = \varphi_{KV} \rho_{KV} + \varphi_{\bar{U}} \rho_{\bar{U}} + \varphi_G \rho_G \quad (12.1)$$

kur:  $\rho_{KV}$ ,  $\rho_{\bar{U}}$  un  $\rho_G$  – atbilstoši koksnes vielas KV ( $\rho_G = 1,53 \text{ g/cm}^3$ ), ūdens ( $\bar{U}$ ) un gaisa (G) blīvuma vērtības;  $\varphi_{KV}$ ,  $\varphi_{\bar{U}}$  un  $\varphi_G$  – atbilstošās komponentu tilpuma daļu vērtības.

Dažādu koka sugu absolūti sausas ( $\varphi_{\bar{U}} = 0$ ) koksnes tilpummasas  $m_K^0$  vērtības dotas 12.2. tabulā.



12.2. tabula

Latvijas apstākļos augošu koku sausas koksnes tilpummasas  $m_K^0$  vērtības

	Koka suga	$m_K^0$ , kg/m <sup>3</sup>	$\rho_G$
	OZOLS	650	0,58
	OSIS	640	0,59
	BĒRZS	600	0,61
	ALKSNIS	490	0,68
	PRIEDE	470	0,69
	APSE	470	0,69
	EGLE	420	0,72

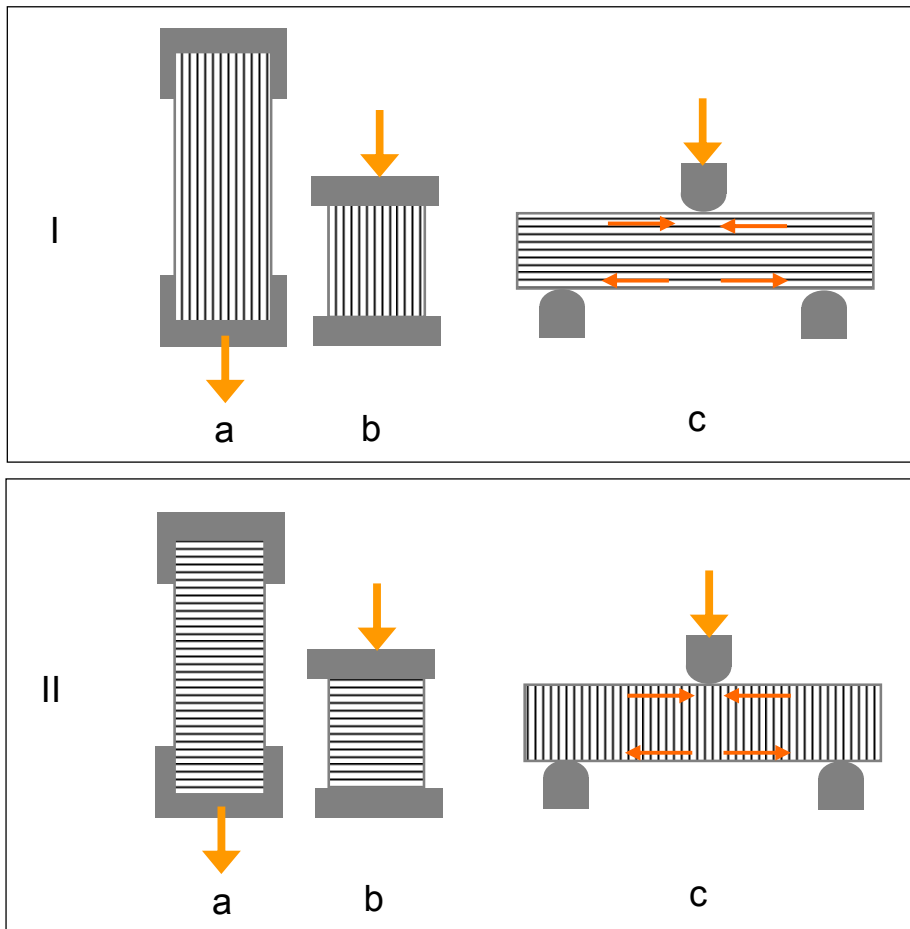
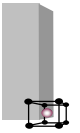
Pieņemot, ka koksnes vielas blīvums visiem koksnes veidiem ir aptuveni vienāds ( $\rho_G = 1,53 \text{ g/cm}^3$ ) iespējams novērtēt tukšumu saturu koksnē ( $\varphi_G$ ) - *porainību*. Kā redzams tukšumu saturs koksnē ir ievērojams.

Dabā arī ir sastopamas gan porainākas, balsa –  $170 \text{ kg/m}^3$ ) gan arī blīvākas koksnes šķirnes (piemēram, *lignum vitae* ~  $1300 - 1370 \text{ kg/m}^3$ ).

## KOKSNES MEHĀNISKĀS ĪPAŠĪBAS

Kā jau bija minēts, atšķirīgais struktūrelementu izvietojums stumbra garenvirzienā un šķērsvirzienā ir par iemeslu ārkārtīgi izteiktai koksnes mehānisko īpašību anizotropijai: koksnes stiprība šūnu ass virzienā - stumbra *garenvirzienā* ir vairāk kā desmit reīžu lielāka nekā *šķērsvirzienā*.

Koksnes *stiepes* stiprība garenvirzienā ir robežās no 130 – 180 MPa; šķērsvirzienā tā ir apmēram 20 reizes mazāka;

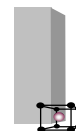


12.10.att. Koksnes izstrādājuma slogošana: I - spriegumi vērsti paralēli šķiedru virzienam – *pareiza* slogošana, II - spriegumi vērsti perpendikulāri šķiedru virzienam - *nepareiza* slogošana;

Koksnes *spiedes* stiprība garenvirzienā ir robežās no 40 – 60 MPa; šķērsvirzienā – gandrīz 8 reizes mazāka.

Koksnes elastības modulis garenvirzienā stiepē, spiedē un liecē ir 12 – 15 GPa, šķērsvirzienā tas 20 – 25 reizes mazāks.

Šo iemeslu dēļ koka konstrukcija veido un slogo tā, lai izslēgtu spriegumu rašanos perpendikulāri koksnes šķiedru virzienam (12.10.att.).



Jo blīvāka koksne, jo lielāka tās stiprība.

Koksnes stiprība samazinās, ja palielinās tās mitruma saturs. Piemēram, mitruma saturam mainoties no 10% līdz 30% stiprības rādītāji samazinās līdz pat divām reizēm.

#### **12.1.4. KOKSNES POZITĪVĀS UN NEGATĪVĀS ĪPAŠĪBAS**

##### **KOKSNES POZITĪVĀS ĪPAŠĪBAS**

- Svarīgāka koksnes priekšrocība ir tā, ka šis materiāls ir *atjaunojams*, ja tiek saprātīgi veikta koku ciršana un jaunu meža audžu izveide un kopšana.

- Koksnes *iegūšana* (zāģēšana, atzarošana, mizošana, žāvēšana), sekojoša *pārvēršana zāģmateriālos* (brusas, dēļi, līstes u.c.), zāģmateriālu *apstrāde* (ēvelēšana, zāģēšana, frēzēšana u.c.), lai tos pārvērstu nepieciešamajos izstrādājumos vai to elementos u.c. procesi, salīdzinot ar citiem materiāliem, ir samērā vienkārši veicami.

- Koksnei ir *izcils mehānisko īpašību komplekss* (stiprība, deformējamība, spēja izturēt triecienus, spēja dzēst vibrācijas).

- Koksne ir labs *siltuma izolators*. Tas ļauj koka ēkās efektīvi uzturēt komfortablu temperatūru gan aukstā, gan karstā laikā. Ēkas koka siena 20 cm biezumā pēc savām siltuma izolējošām īpašībām ekvivalenta 50 cm biežai ķieģeļu sienai.

- Pozitīvi vērtējamas ir koksnes *akustiskās īpašības*. Koksne ir labs *skaņas izolators*. Tajā pašā laikā koksnei ir laba *skaņas rezonances īpašības*, kas izpaužas kā spēja atstarojot pastiprināt skaņu, neizmainot tās frekvenci. Tāpēc koksne tiek izmantota mūzikas instrumentu, skaņas pastiprināšanas iekārtu, koncertzāļu, auditoriju u.c. izveidē.

##### **KOKSNES NEGATĪVĀS ĪPAŠĪBAS**

- Kā jau redzējām, koksnes šķiedrainā uzbūve ir par iemeslu izteiktai *mehānisko īpašību anizotropijai*. Tas rada noteiktas problēmas gan projektējot konkrētus izstrādājumus no koka, gan izvēloties atbilstošās koksnes apstrādes metodes.



- Būtisks koksnes trūkums ir koksnes *īpašību atkarība no mitruma satura*. Tas attiecināms gan uz koksnes mehāniskām īpašībām, gan uz izstrādājuma konfigurācijas maiņu.

- Koksne kā materiāls, kas sastāv no organiskas dabas polimēriem, ir pakļauta koksni noārdošu *sēnīšu* un *kukaiņu* iedarbībai – koksne *trupē*. Mitras koksnes trupēšana notiek straujāk.

Koksnes trupēšanu iespējams ievērojami palēnināt apstrādājot koksni ar īpašām *antiseptiskām* vielām.

Konstruktijas un izstrādājumi no lietpratīgi sagatavotas koksnes (ēkas, būves, konstruktijas, mēbeles u.c.) tomēr spēj kalpot pat vairākus simtus gadu.

Šeit īpaši jāatzīmē, ka koksne, kas ilgstoši atrodas ūdenī (sasniedzot mitruma saturu virs 100%) ne tikai nebojājas, bet iegūst jaunas praktiski noderīgas īpašības. Tā, piemēram, joprojām tiek izmantota *kauri* koka koksne (Jaunzēlande), kas vairākus gadu tūkstošus atradusies ap 100 m dziļumā kūdras purva ūdenī.

- Koksne *deg*. Tas ir būtisks koksnes trūkums, kas padara koksnes būves *ugunsnedrošas*. Koksnes apstrāde ar speciālām vielām – *antipirēniem* samazina, bet nenovērš koksnes degtspēju pilnīgi. Taču tieši šī koksnes īpašība tiek gadu tūkstošiem ilgi izmantota siltuma iegūšanai.

### **12.1.5. KOKSNES IZMANTOŠANA**

Koksne tiek ļoti plaši izmantota kopš neatminamiem laikiem līdz pat šim brīdim.

Koksni izmanto, lai izgatavotu:

- dažāda lieluma un sarežģītības koka ēkas un konstruktijas,
- mēbeles,
- sporta inventāru,
- laivas un kuģus,
- mūzikas instrumentus,
- skaņu pastiprināšanas ierīces,



- sērkociņus,
- lietišķās mākslas un mākslas priekšmetus un daudzus citus.

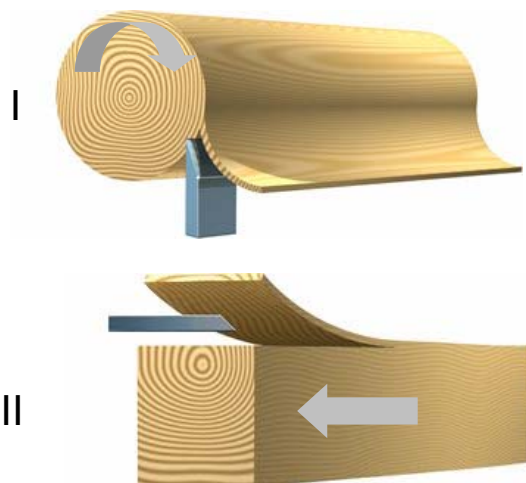
### 12.1.6. KOKSNES KOMPOZĪTMATERIĀLI

Pateicoties koksnes izcilajām īpašībām koksni plaši izmanto dažādu *kompozītmateriālu* iegūšanai.

Viens no senākajiem koksnes kompozītiem ir **saplāksnis**. Tas ir slāņains kompozīts, kuru veido vairāki savā starpā salīmēti plāni koksnes slāņi.

Koksnes slāņus – **finieri** – iegūst no īpaši koksnes sagatavēm – *finiera klučiem*.

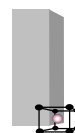
Viens no plaši izmantotiem finiera iegūšanas paņēmieniem ir *lobīšana* – finiera nogriešana ar asu nazi, cilindriskas formas finiera klučim (bērzs, melnalksnis, priede u.c.) rotējot ap savu asi (12.11.att.). Lobīto finieru biezums: 0,1 – 3,5 mm. Finiera lokšņu garumu  $L$  (to mēra šķiedru virzienā) nosaka finierkluča garums (līdz 2 m), platumu finierkluča diametrs.



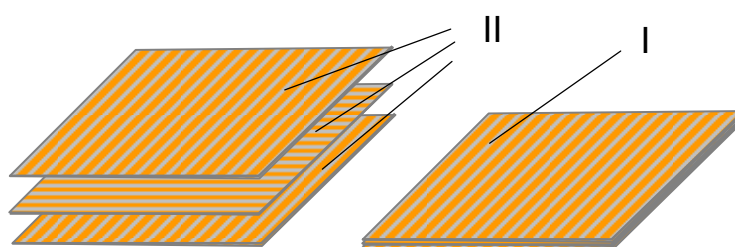
12.11.att. Finiera iegūšana lobot (I) un drāžot (II).

Otrs paņēmiens ir *drāšana* – finieri iegūst nazi virzot finierkluča (ozols, osis, riekstkoks, sarkankoks u.c.) garenvirzienā. Drāzto finieru biezums: 0,4 – 1,5 mm.





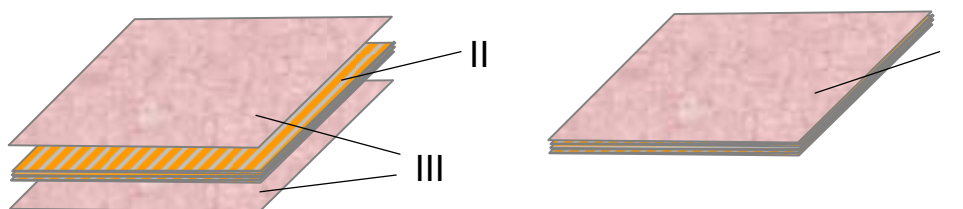
*Saplāksni* (12.11.att., I) iegūst salīmējot savā starpā trīs vai vairākus finieru loksnes (II), katru finiera slāņa šķiedru virzienu orientējot perpendikulāri iepriekšējām. Šādā veidā (tāpat kā formējot stiegtus kompozītus no prepregiem, skat. Tēmu 11) iegūst materiālu, kura stiprība maz atšķiras no virziena. Kā līmi parasti izmanto fenolformaldehīda polimērus.



12.12.att. Saplāksnis

Saplākšņu biezumu nosaka finieru lokšņu kārtu biezums un skaits. Saplākšņu biezums ir standartizēts. Izgatavo 3 līdz 24 mm biezus saplākšņus.

Laminēto saplāksni (I) iegūst saplāksni (II) no abām pusēm aplīmējot ar papīru (III), kas piesūcināts ar fenolformaldehīda polimēru. Tas būtiski palielina saplākšņa nodilumizturību.



12.13.att. Laminētais saplāksnis



Ļoti plaši tiek izmantots cits koksnes kompozīts - **kokskaidu plātnes**. Tos veido sajaucot koka *skaidas* ar termoreaktīvu polimēru (6 – 12% no skaidu masas) un tad presējot, sākumā istabas temperatūrā, pēc tam paaugstinātā temperatūrā, 0,3 – 2 MPa spiedienā.

Atkarībā no presēšanas spiediena iegūst kokskaidu plātnes (12.14. att.) ar dažādu tilpummasu (12.3. tabula). Palielinoties tilpummasai pieaug plātņu mehāniskā izturība.

12.3. tabula

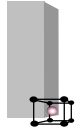
Kokskaidu plātņu tilpummasa un izmantošanas jomas

Kokskaidu plātņu veids	Tilpummasa, kg/m <sup>3</sup>	Izmantošanas jomas
neblīvās	< 550	Skaņas un siltumizolācijas materiāls iekštelpās
vidēji blīvās	550 - 750	Sienu un griestu apšūšanai, mēbeļu izgatavošanai
blīvās	> 750	Konstrukciju izgatavošanai

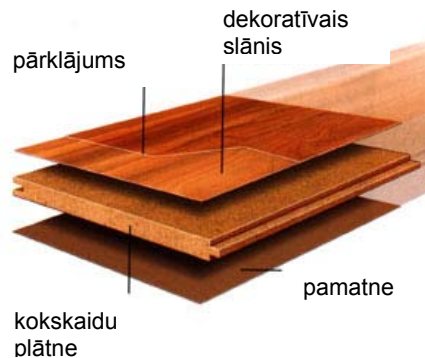


12.14.att. Kokskaidu plāksnes

Plātņu biezums 10 – 30 mm.



Mēbeļu un citu objektu izgatavošanai izmanto *laminētas* kokskaidu plātnes (12.15.att.).



12.15.att. Laminētas kokskaidu plātnes

Pēdējos gados plašu pielietojumu ieguvuši stiegroti-pildīti kompozīti, kas veidoti uz termoplastiskas polimēru matricas un koksnes šķiedru bāzes. Izstrādājumus no šiem kompozītiem iespējams iegūt izmantojot termoplastisko polimēru pārstrādes metodes, galvenokārt ekstrūziju.

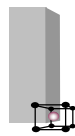
## 12.2. KAULS

### 12.2.1. KAULA UZBŪVE UN ĪPAŠĪBAS

Kauls, tāpat kā koksne, ir *dabas* produkts - dzīvnieku un cilvēka organisma (ķermeņa) būtiska sastāvdaļa. Kauli ir apvienoti vienotā sistēmā – *skeletā*. Piemēram, cilvēka skeletu, kas sastāda ap 20% no ķermeņa masas, veido 206 atsevišķi kauli.

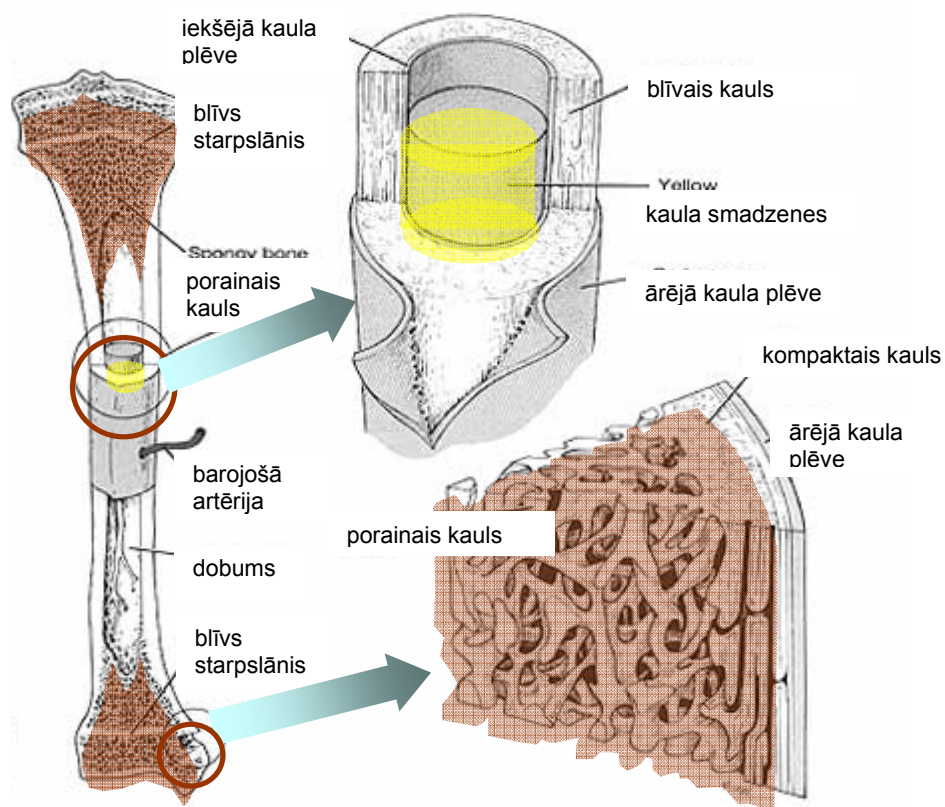
Skelets pilda vairākas dzīvības uzturēšanai absolūti nepieciešamas funkcijas:

- balsta ķermeņi
- aizsargā citus orgānus (galvaskauss ir dabas veidota „aizsargķivere”)
- ražo sarkanos asinsķermenīšus savas struktūras iekšienē
- ir ķermeņa kalcija krātuve



No materiālzinību viedokļa kauls ir ļoti racionāli būvēts dabas kompozīts. Kaula kā praktiski izmantojama materiāla loma vēstures gaitā ir stipri mazinājusies un mūsu laikā ir niecīga. Taču informācija par kaulu struktūru ir izmantojama jaunu cilvēka radītu kompozītu veidošanā. Bez tam mūsdienu ķirurģiskā medicīnā liela loma ir kaula aizstājējiem un implantiem. To sekmīga izstrāde un izmantošana nav iedomājama bez kaula uzbūves un īpašību izziņāšanas.

Aplūkosim shematisku gara kaula struktūras attēlu mikroskopiskā līmenī (12.15. att.).

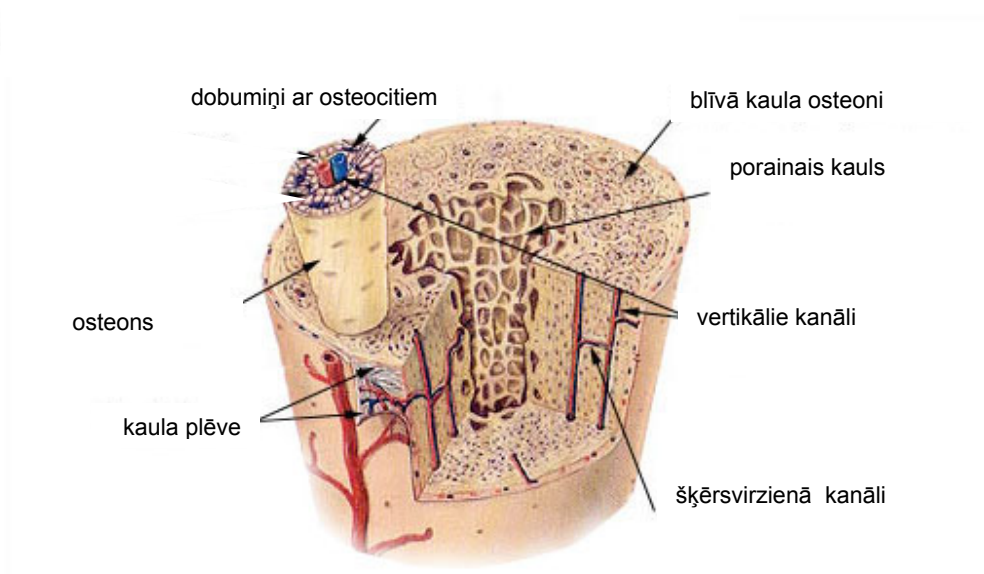


12.15. att. Kaula uzbūve



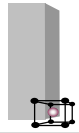
Kauls ir laba „konstrukcija” ar cilindrisku dobumu, kurā atrodas dzeltenās kaula smadzenes.

Kaula cilindrisko daļu veido *kompaktā* (blīvā) kaula viela, to no ārpusē un iekšpusē klāj kaula plēve. Kaula galos un daļēji cilindriskās daļas iekšpusē atrodas *porainā* kaula viela. Tajā esošās sarkanās smadzenes ražo sarkanos asinsķermenīšus.



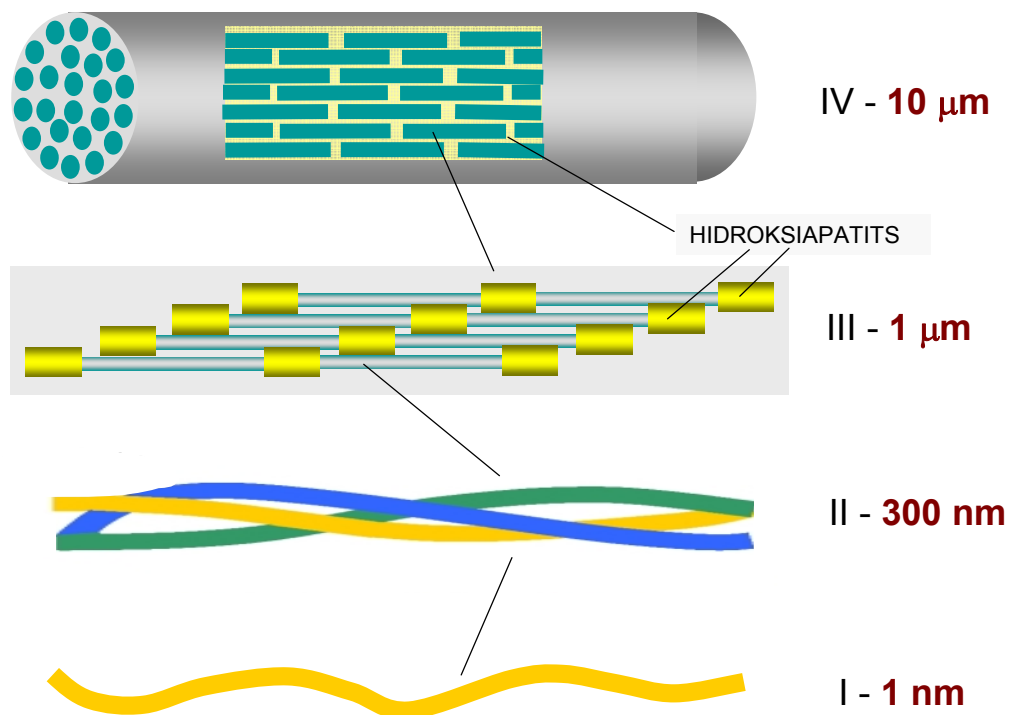
12.16. att. Blīvā kaula struktūra

*Blīvā kaula uzbūve* ir pietiekami sarežģīta (12.16. att.). Kauls sastāv no *kaula vielas*, kas ietilpst cieši viens pie otra novietotās cilindriskās struktūrvienībās *osteonos*. To struktūra ir sīki koncentriskos gredzenos izkārtoti dobumiņi. Katrā no šiem dobumiņiem izvietojas kaulu radošās šūnas - *osteocīti*. Osteona vidū atrodas *centrālais kanāls*, kurā izvietojas asinsvadi. Katra šūna kontaktē ar pārējām caur sīku kanāliņu tīklu, kas caurauž kaulu vielu. Caur šiem kanāliem šūnas tiek savienotas ar centrālo kanālu. Tādējādi tiek nodrošināta šūnu barības vielu apmaiņa.

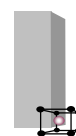


Blīvā *kaula viela* sastāv no proteīna (pamatā *kolagēna* ) un neorganiskas kalciju un fosforu saturošas kristāliskas vielas *hidroksiapatīta*  $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$ . Tas sastāda ap 60% no kaula vielas.

Kaula vielas struktūras hierarhija parādīta 12.17. att. Kolagēna makromolekulas (12.17. att., I) ir „savērptas” trīskāršās spirālēs (II), veidojot *tropokolagēnu*. Kaula vielas veidošanās notiekošā mineralizēšanās procesā veidojas *virtnes*, kas sastāv no pamīšus izvietotiem tropokolagēna fragmentiem un hidroksiapatīta kristāliņiem. Šīs virtnes savukārt, izvietotojoties savstarpēji paralēli, apvienojas kūļos – mineralizēta kolagēna *fibrillās* (III).



12.17. att. Kaula vielas struktūras hierarhija (skaitļi – struktūrvienību šķērsizmēri)



Pēdējā kaula vielas struktūras hierarhija pakāpe ir gari veidojumi, kas sastāv no mineralizēta kolлагena fibrillām, kas savstarpēji paralēli izvietotas fibrillāra kolagēna matricā. Sauksim tās par *šķiedrām* (IV).

Kolagēna komponente ir pietiekami mehāniski izturīga un reizē sīksta (kolлагena dažāda līmeņa fibrillas deformācija līdzīga superelastīgai).

Savukārt hidroksiapatīta kristālitu ir mehāniski ļoti izturīgi (šo kristālitu stiprība ir 2 – 3 reizes lielāka, nekā kompakta hidroksiapatīta stiprība), taču trausli.

Kaula vielas daudzpakāpju struktūra nodrošina kaula izcilo mehānisko īpašību kopumu. Slogojot kaulus deformējamās proteīna fibrillas efektīvi pārnes slodzi uz *hidroksiapatīta* kristālitu, līdzīgi kā tas notiek stiegtos polimērkompozītos. Tas padara kaula vielu mehāniski izturīgu un vienlaicīgi pietiekami atgriezeniski deformējamu.

Daži kaula vielas stiprības-deformējamības rādītāji doti 12.4. tabula

12.4. tabula

Kaula vielas stiprības-deformējamības rādītāji

Rādītājs	STIEPE		SPIEDE	
	garenvirzienā	šķērsvirzienā	garenvirzienā	šķērsvirzienā
Elastības modulis, GPa	17	11		
Stiprības robežspriegums, MPa	135	50	190	130
Trūkšanas pagarinājums, %	2 – 3			