

Glaciální sedimenty

Oblasti pevninského ledovcového systému

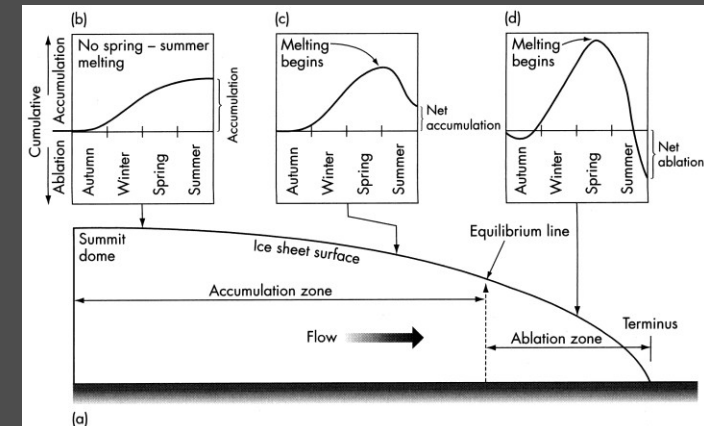
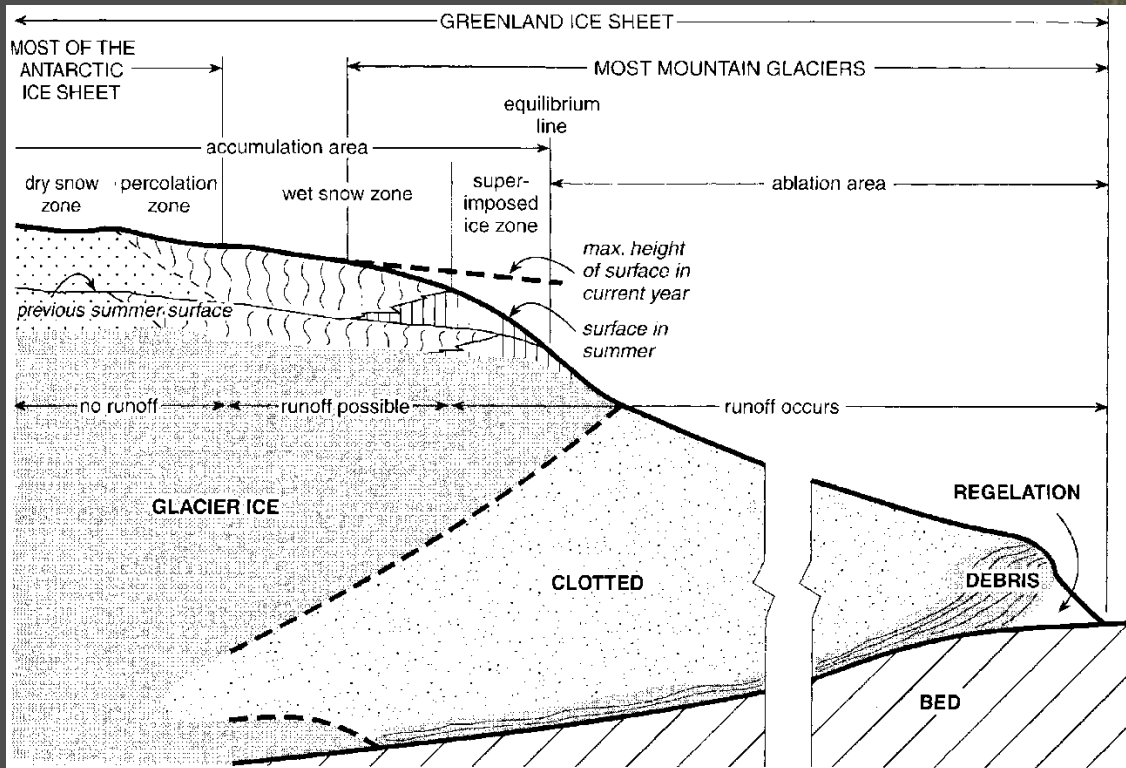
Horizontální členění

1. Ledovcová oblast

- akumulční zóna (nedochází k ukládání ledovcem transportovaného materiálu)
- ablační zóna (sedimentace ledovcem transportovaného materiálu)



Nevytříděný tillový materiál, lokalita Brown (USA).



Oblasti pevninského ledovcového systému

2. Oblast ledovcového okraje (terminoglaciacílní oblast)

- čelní zóna
- boční zóna (horské zalednění)

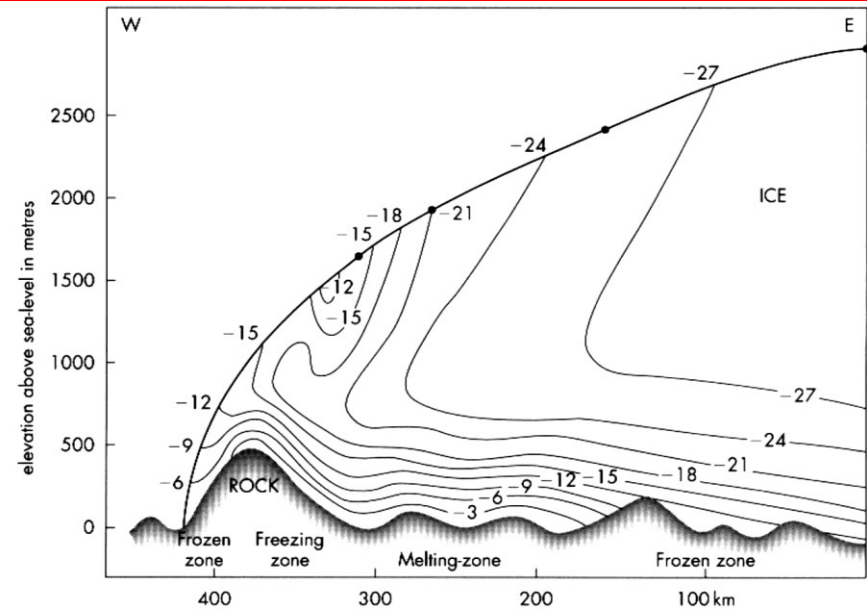
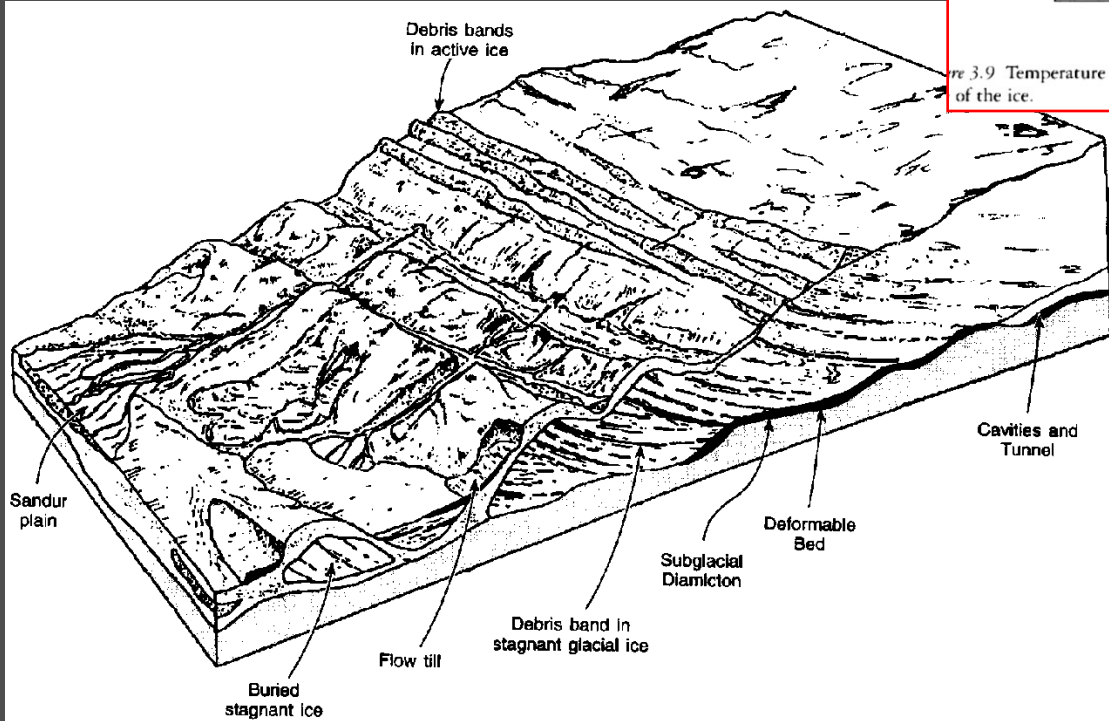


Figure 3.9 Temperature structure and cross section of the Greenland ice sheet at 70°N, showing the conditions at the base of the ice.

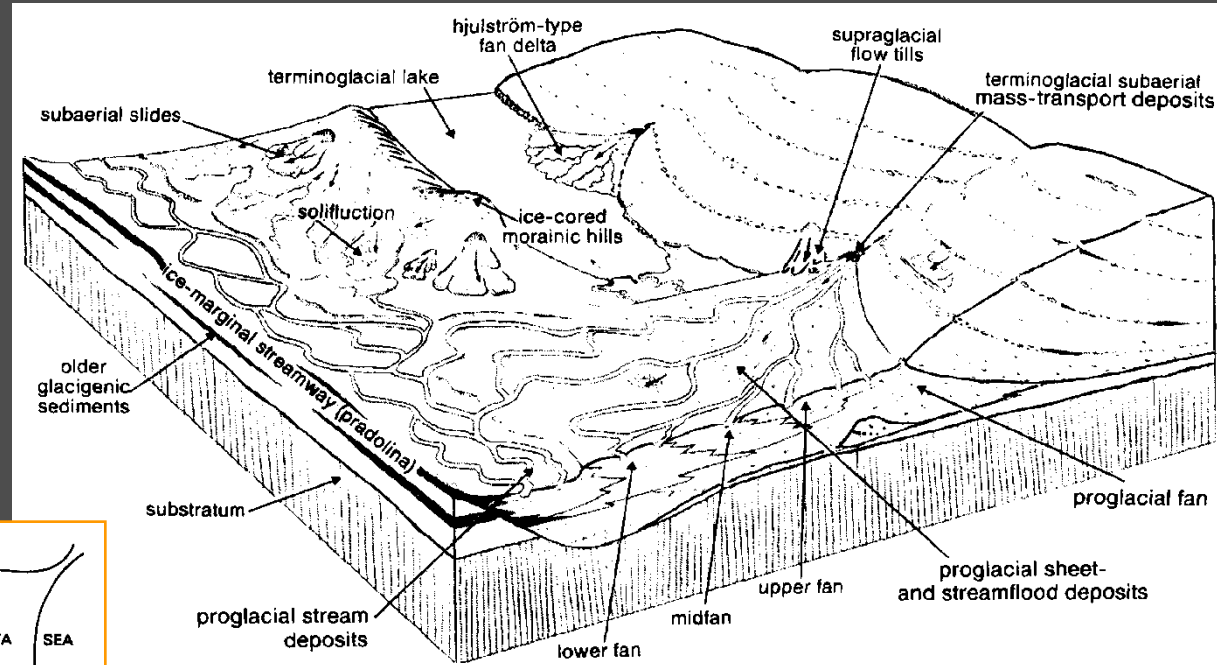


Oblasti pevninského ledovcového systému

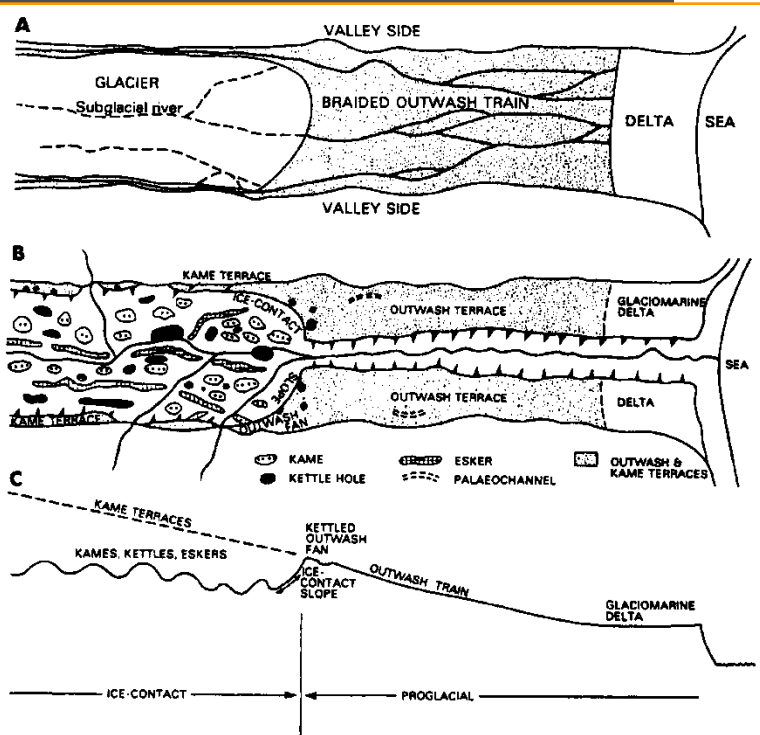
3. Proglaciální oblast

(vně vlastního ledovce)

- proximální zóna
- střední zóna
- distální zóna



The proglacial subenvironment with some of the most common features.

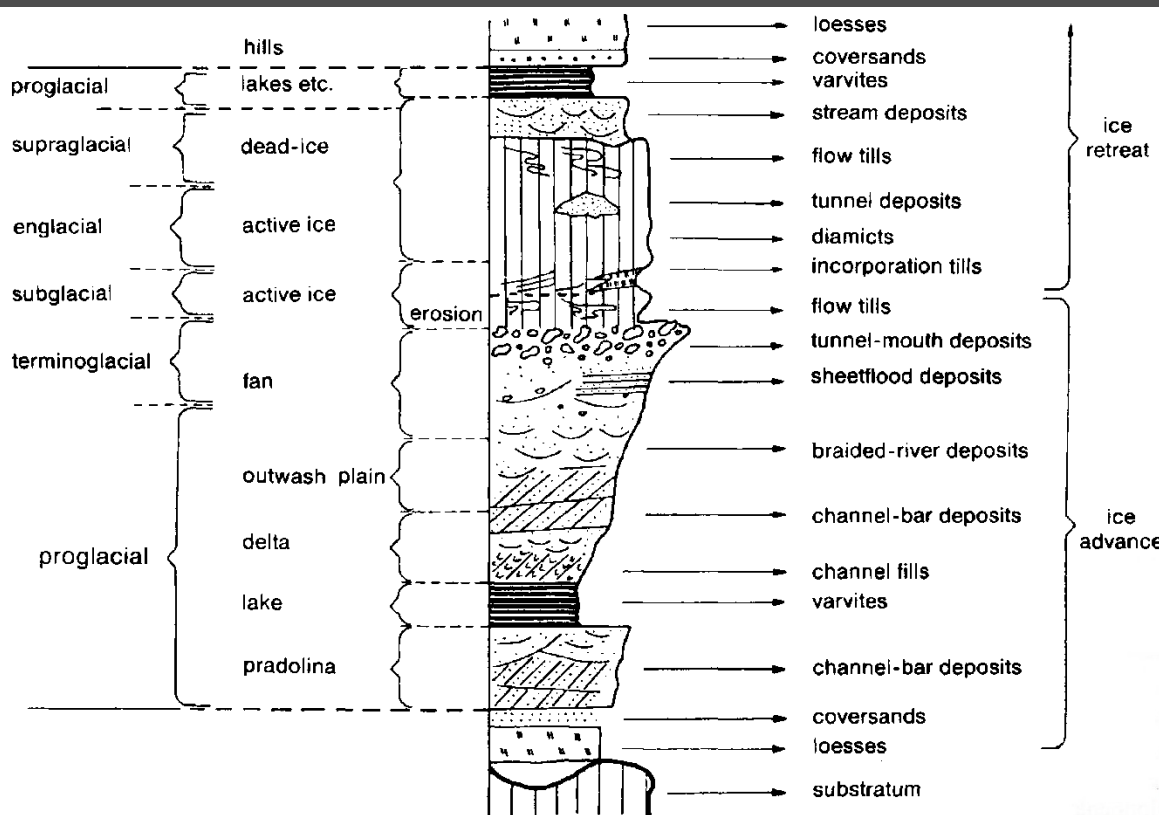


4. periglaciální oblast (nad ledovcem - extraglaciální)

Sedimenty pevninských ledovců - genetické členění

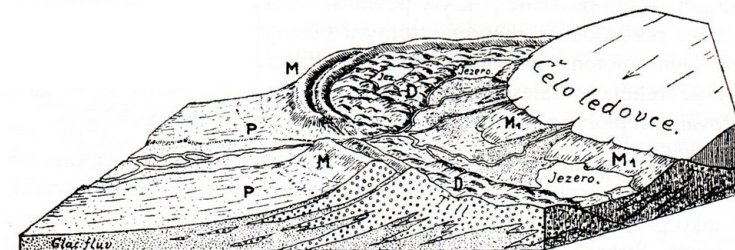
(děleny podle prostředí a typického mechanismu sedimentace):

- **glacigenní sedimenty - tilly** (vzniklé uložením přímo ledovcem)
- **glacifluviální sedimenty** (uložené tavnými ledovcovými vodami v ledovcové, terminoglaciální a proglaciální oblasti)
- **glacilakustrinní sedimenty** (ukládáné v supraglaciální a subglaciální části ledovcové oblasti a v proglaciální oblasti)



ústup čela ledovce

postup čela ledovce



Obr. 73. Erozní a akumulační tvary v předpolí ústupového stádia ledovce. M - čelní moréna, P - ledovcový výplav (sandr), D - drumliny spodní morény, MI - ústupová moréna. Podle G. Wagnera.

Glacigenní sedimenty - tilly

Materiál erodovaný ledovcem ze starších hornin nebo zvětralinového pláště

Definice: Till je sediment uložený přímo ledovcovým ledem, který neprošel žádným následným rozpadem a resedimentací

- typická je **nevytříděnost zrnitostní frakce**, tzn. horninové úlomky nejrůznějších velikostí (**diamiktity**) v jednom akumulacním tělese
- různý stupeň opracování horninového materiálu, častý výskyt rýhovaných valounů - **souvků**



Genetické členění

Primární till

Vznik přímým uvolňováním z ledovce a uložení primárně ledovcovými procesy (odtávání, nalepování, sublimace nebo deformace způsobená ledovcem)

Sekundární till

Vznik resedimentací ledovcem dříve transportovaného materiálu, malé nebo žádné vytřídění vodou

Glacigenní sedimenty - tilly

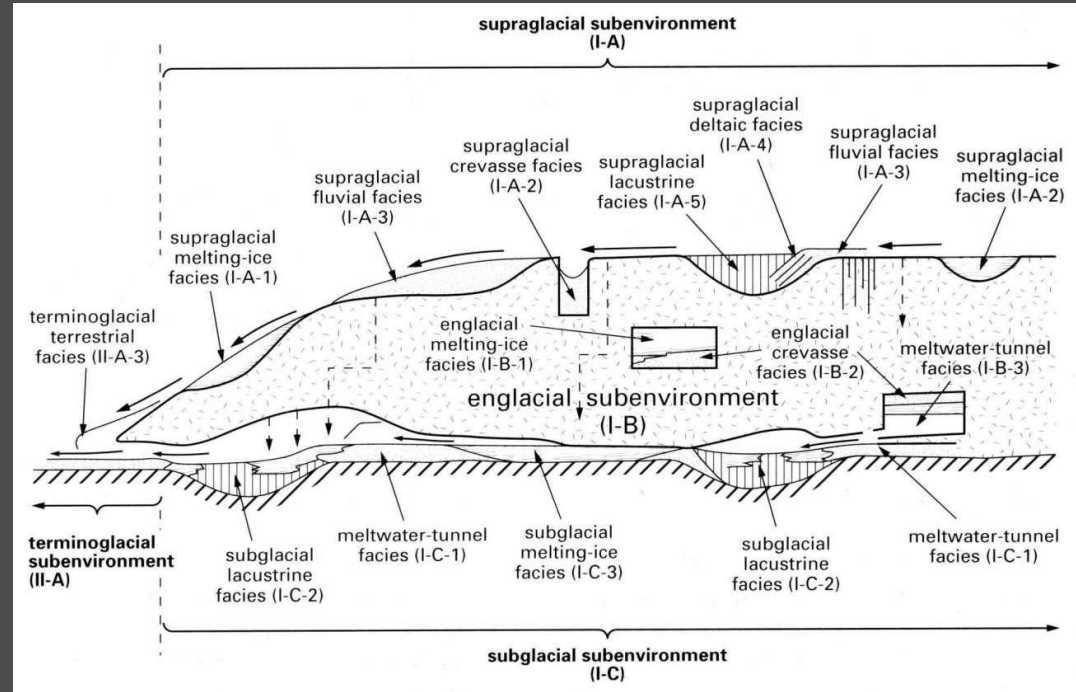
Dělení podle vzniku

Typy tillů dle vzniku

Supraglaciální till - vznik ve svrchní zóně ledovce, usazovaný jako vodou nasycená masa tillu tekoucí nejčastěji ze svahu ledovce („flow till“).

Englaciální till - obsah valounů uvolněných odtáním ledu nad bází ledovce nebo na jeho povrchu.

Subglaciální till - bazální till vzniklý pod aktivním ledovcem („lodgement till“).



Schematický model supra-, en- a subglaciálního prostředí s okrajovou zónou kontinentální ledové masy.

- **deformační till** („deformation till“) - měkký bazální till postižený subglaciálními deformačními procesy, matrix mezi valouny je tlakově deformována
- potíže s odlišením post-depozičních deformací vzniklých novým postupem ledovců

Glacigenní štěrky

Glacigenní štěrky

Transportované v ledu vyšších pater ledovce - nezaoblené, bez rýhování, různá sféricita.

Transportované ve spodních částech ledovce - mírně zaoblené, vyšší sféricita, vlivem drčení často ostré hrany, na povrchu různosměrné rýhování.

Transportované v bazálním tillu - značně zaoblené, různá sféricita, na povrchu paralelní rýhování.

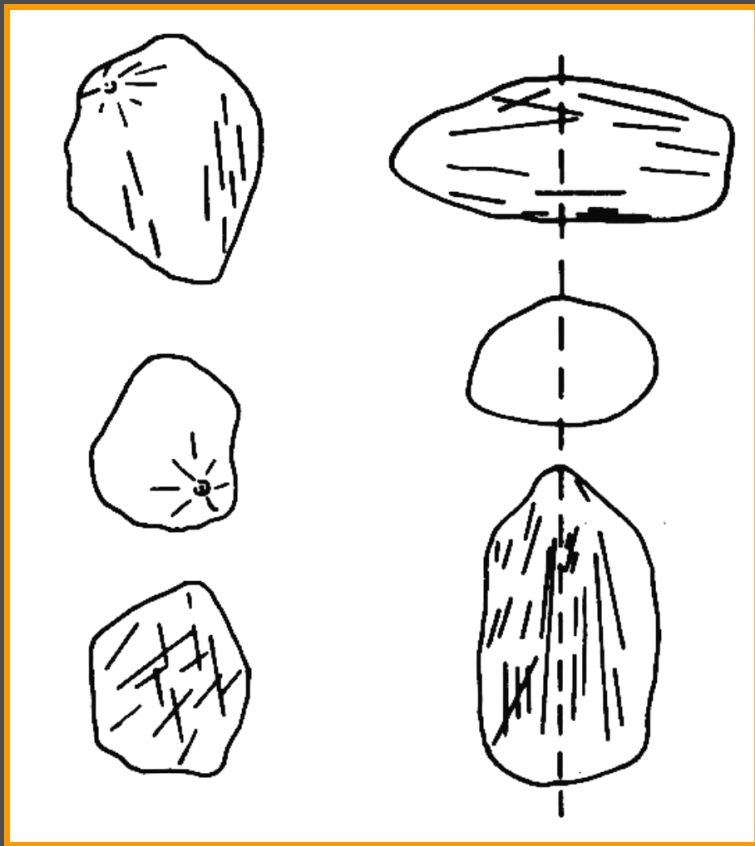


Hrubozrnny materiál z morény horského ledovce, Kazachstán.

- > 25 km - 50 km - většina štěrkové frakce redukována na psamitickou
- transport valounů štěrkové frakce - až 1200 km
- protáhlé částice subglaciálního tillu - paralelně se směrem transportu
- rýhované valouny - pouze měkčí horniny (vápence, dolomity, slínovce), dále facety, radiální trhliny
- odhady procentuálního zastoupení rýhovaných valounů všech glacigenních sedimentů se liší - 1 % až 7 %

Klasy	Frakce (mm)	$\Phi = -\log_2 d$
drobné valouny	2 - 4	-1,0 až -2,0
střední valouny	4 - 64	-2,0 až -6,0
hrubé valouny	64 - 256	-6,0 až -8,0
balvany	> 256	méně než -8,0

Wentworthova klasifikace zrnitostní frakce (d = průměr částice v mm).



Rýhy na souvku felzitického porfyru



Ledovcové rýhy na prachovci

Glacigenní písky - písčítá frakce tillu

Vznik abrazí podložních hornin nebo materiálu unášeného ledem

Charakteristika

- značná nevytříděnost
- vysoký poměr živec/Q + mnoho amfiboly + pyroxeny

- převaha v glacifluviálních i glacilakustrinních sedimentech
- průměrné složení prvocyklových písků: křemen 21 %, živec 6 %, úlomky hornin 73 %

Frakce (mm)	Křemen + živec (%)	Úlomky hornin (%)
2 - 1	22	78
1 - 0,5	33	67
0,5 - 0,25	49	51
0,25 - 0,125	61	39
0,125 - 0,0625	68	32

Složení pleistocenních glacigenních písků a jeho změny se zrnitostí (Slatt, Eyles 1981).

- zastoupení úlomků hornin klesá se zmenšující se frakcí glacigenních písků, stejně jako je tomu u písků jiné geneze

Glacigenní písky

Prvocyklové - uloženy v blízkosti ledovce.

Druhocyklové - uloženy ve větší vzdálenosti, dvakrát nebo vícekrát přeplavené.

průměrné složení druhocyklových písků: křemen 19 %, živec 40 %, úlomky hornin 41 %

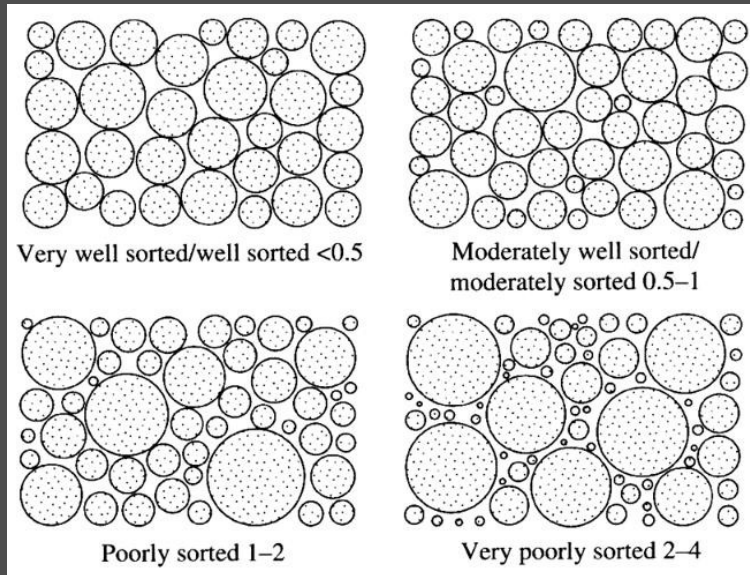
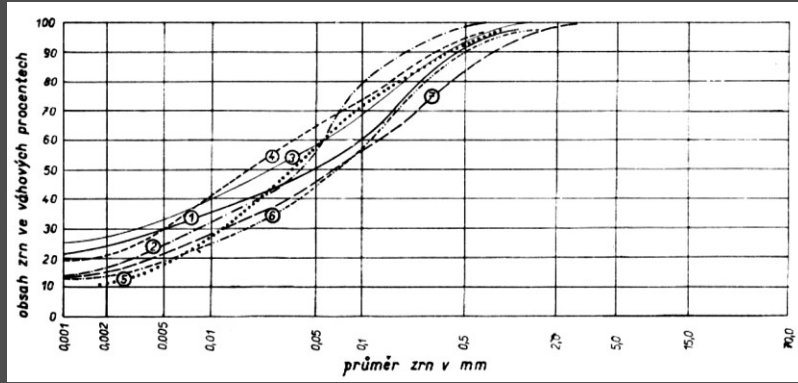
Křemenná a granátová zrna

- povrch glacigenních křemenů - vysoký reliéf, semiparalelní stupně, paralelní rýhování, intendance (stopy po vtlačování tvrdších objektů), výčnělky

- granáty - rýhované - považováno za typický znak glacigenních sedimentů

Zrnitost, vytrídění, tvar klastů

Kumulační křivka



Grain size		Descriptive terminology		
phi (φ)	mm/μm	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	Blott and Pye (2001)
-11	2048 mm		Very large boulders	
-10	1024		Large boulders	Very large
-9	512	Cobbles	Medium boulders	Large
-8	256		Small boulders	Medium
-7	128		Large cobbles	Small
-6	64		Small cobbles	Very small
-5	32		Very coarse cobbles	Very coarse
-4	16	Pebbles	Coarse pebbles	Coarse
-3	8		Medium pebbles	Medium
-2	4		Fine pebbles	Fine
-1	2	Granules	Very fine pebbles	Very fine
0	1	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
1	500 μm	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
2	250	Medium sand	Medium sand	Medium
3	125	Fine sand	Fine sand	Fine
4	63	Very fine sand	Very fine sand	Very fine
5	31		Very coarse silt	Very coarse
6	16	Silt	Coarse silt	Coarse
7	8		Medium silt	Medium
8	4		Fine silt	Fine
9	2	Clay	Very fine silt	Very fine
			Clay	Clay

Průměrná velikost zrna

$$M_z = \frac{P_{16} + P_{50} + P_{84}}{3}$$

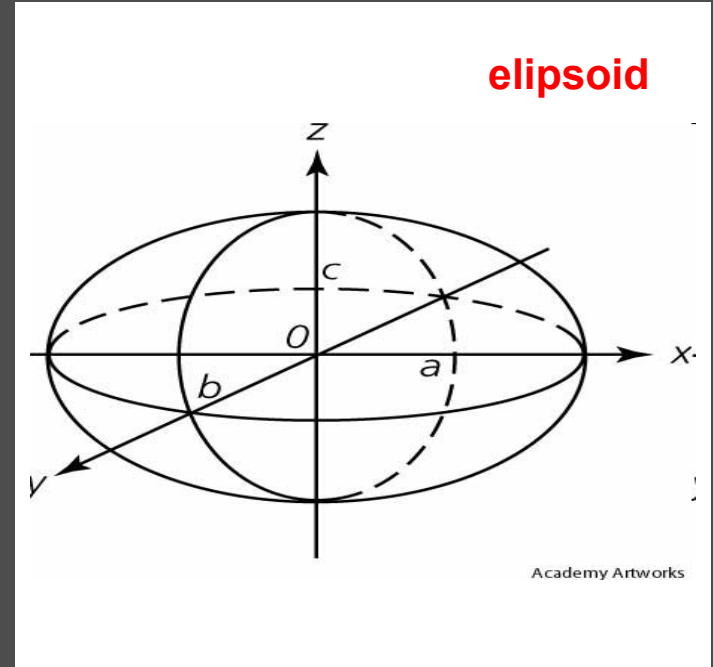
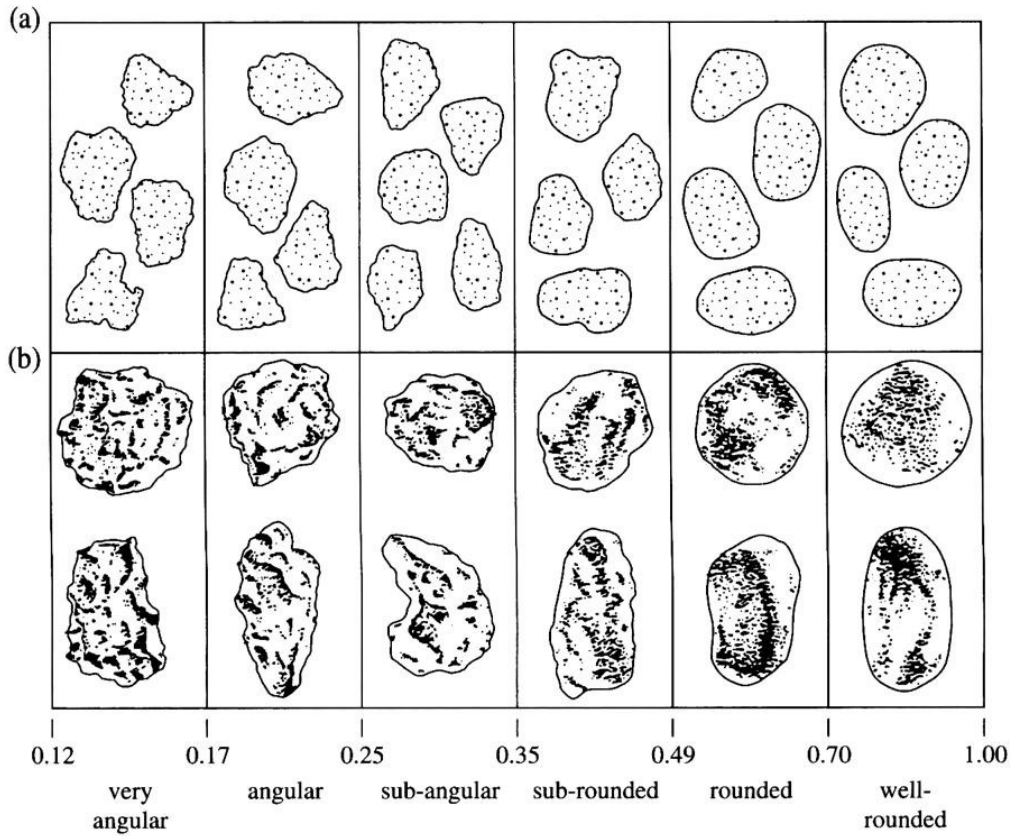
Koeficient vytrídění

$$\sigma_I = \frac{P_{84} - P_{16}}{4} + \frac{P_{95} - P_5}{6,6}$$

Koeficient symetrie

$$sk_I = \frac{P_5 + P_{95} - 2P_{50}}{P_{75} - P_{25}}$$

Zrnitost, vytrídění, tvar klastů



Koeficient sféricity

Table 8.4 Roundness grades (modified from Powers, 1953)

Grade term	Abbreviation	Class interval	Geometric mean
Very angular	VA	0.12–0.17	0.14
Angular	A	0.17–0.25	0.21
Sub-angular	SA	0.25–0.35	0.30
Sub-rounded	SR	0.35–0.49	0.41
Rounded	R	0.49–0.70	0.59
Well-rounded	WR	0.70–1.00	0.84

$$S = \sqrt[3]{\frac{bc}{a^2}}$$

$$S_w = \frac{\sqrt[3]{\left(\frac{c}{b}\right)^2 \frac{b}{a}}}{1 + \frac{c}{b}\left(1 + \frac{b}{a}\right) + 6\sqrt{1 + \left(\frac{c}{b}\right)^2\left(1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2\right)}}$$

Ledovcová oblast – supraglaciální prostředí

1. Primární tilly

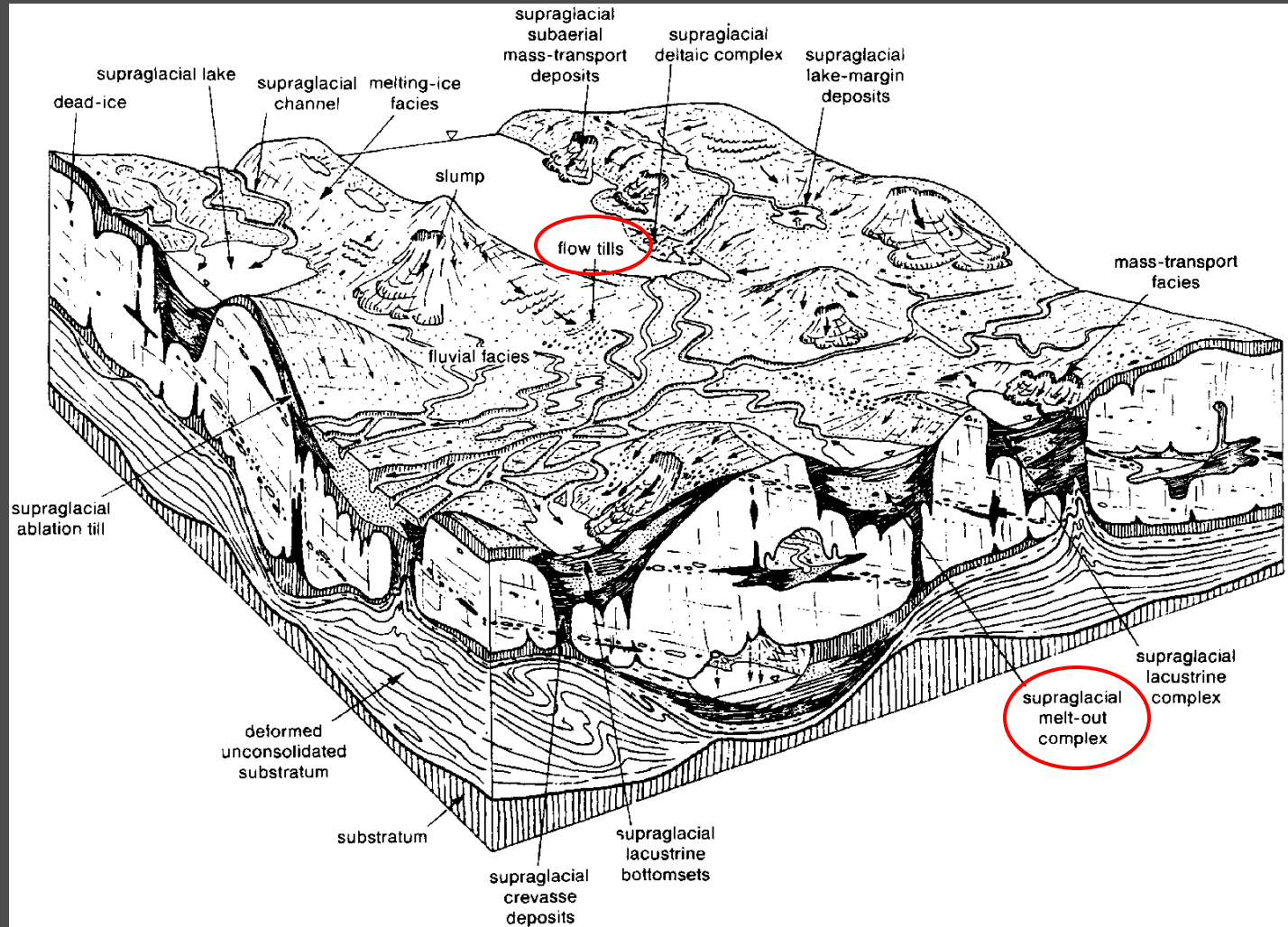
- Melt-out till

2. Sekundární tilly

- Flow till

Supraglaciální
fluviální
sedimenty

Supraglaciální
lakustrinní
sedimenty



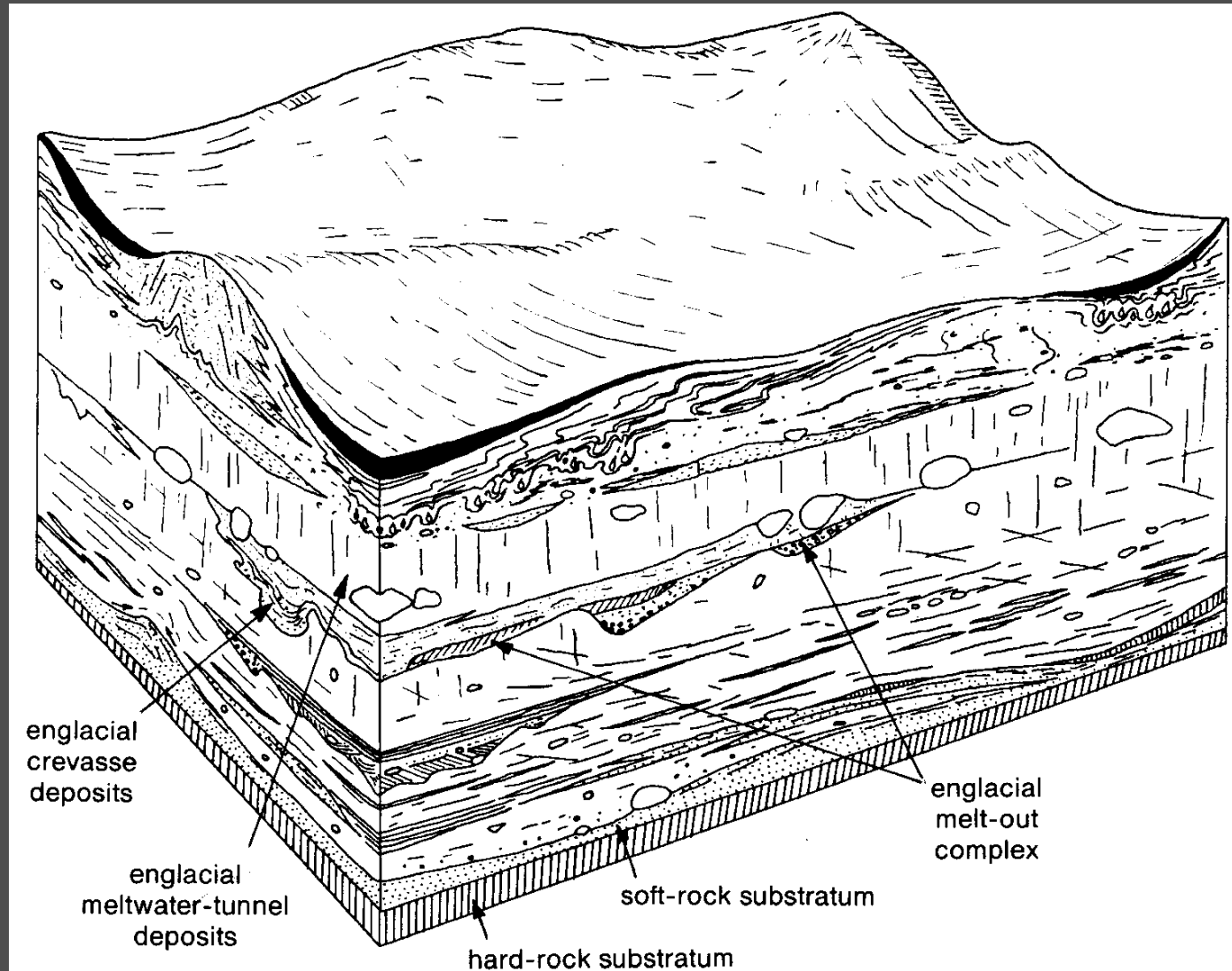
The supraglacial subenvironment under passive-ice conditions during a stage of advanced deglaciation (modified after Brodzikowski and Van Loon, 1987).

Ledovcová oblast - englaciální prostředí

1. Primární tilly

- Melt-out till

Englaciální fluviální sedimenty



Schematic model of the spatial relationship between sediments of the englacial subenvironment. Based on Eyles et al. (1982, 1983) and Van Loon and Brodzikowski (1987).

Ledovcová oblast – subglaciální prostředí

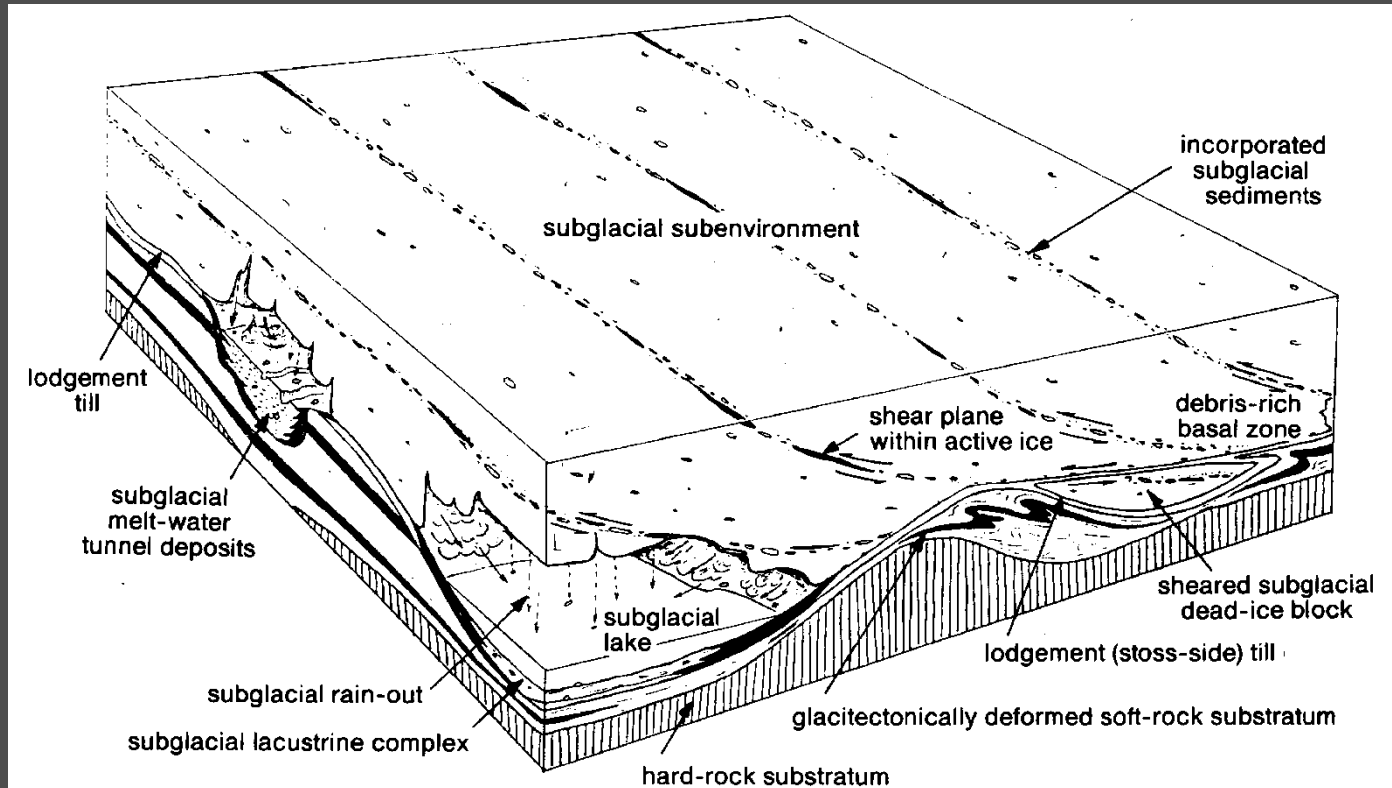
1. Primární tilly

- Lodgement till
- Melt-out till
- Deformační till
- Glacitektonit
- Sublimační till

2. Sekundární tilly

- Flow till
- Waterlain till

Subglaciální fluviální lakustrinní sedimenty



Schematic model of the subglacial subenvironment with its deposits. The model is characteristic of the situation in the ablation zone of temperate glaciers and ice sheets with a substratum consisting of unconsolidated sediments.

Subglaciální procesy závisejí na vlastnostech ledovce
(ledovce s teplou a chladnou bází, polytermální ledovce)

Terminoglaciální oblast

1. Primární tilly

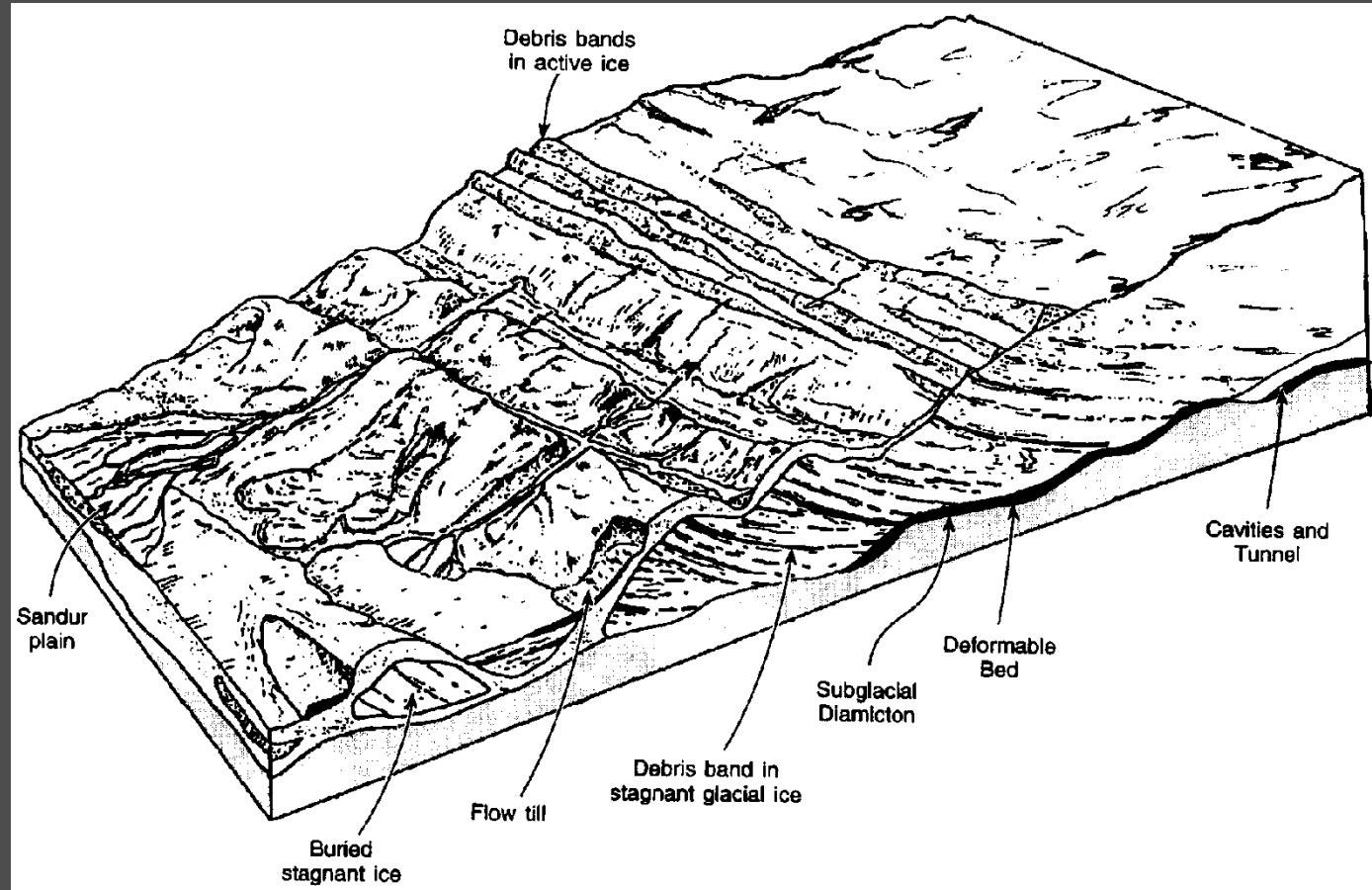
- Melt-out till
- Lodgement till

2. Sekundární tilly

- Flow till

Glacifluviální sedimenty

Glacilakustrinní sedimenty



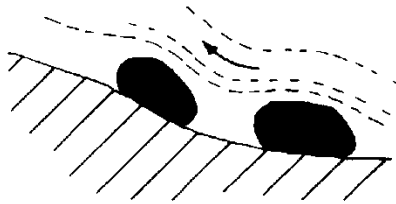
Klasifikace tillů (nej důležitější typy)

1. Primární tilly

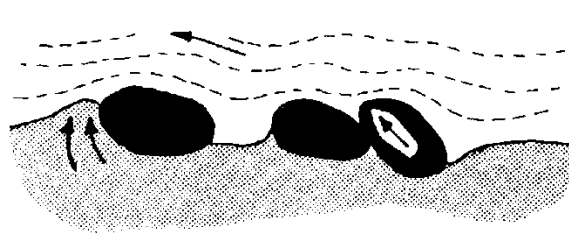
Lodgement till

Definice: Lodgement till - sediment uložený nalepením ledovcového materiálu uvolněného z klouzající ledovcové báze tlakovým táním nebo jinými mechanickými procesy.

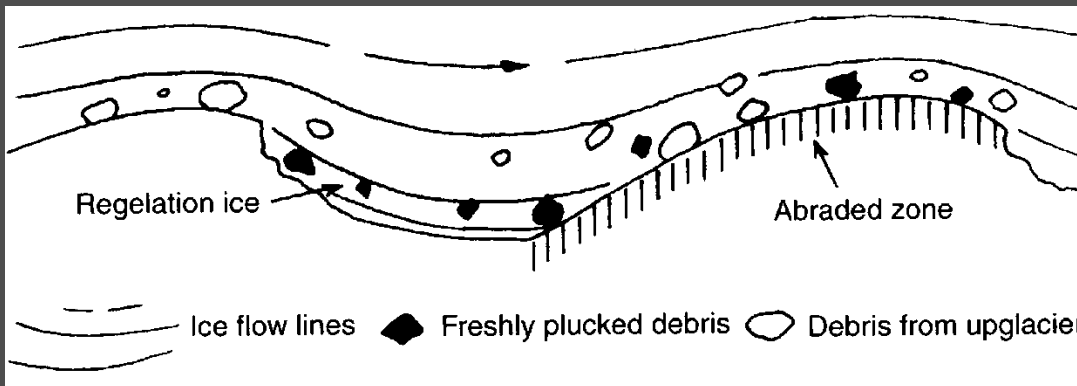
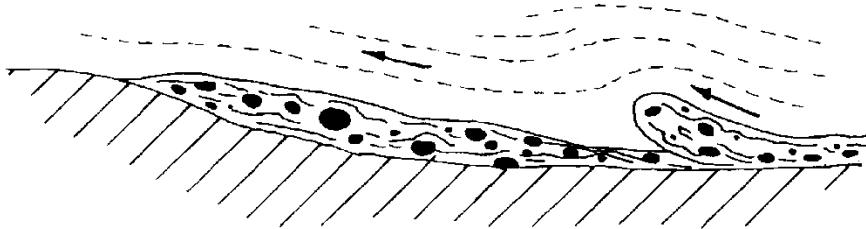
(a) Frictional retardation against bed



(b) Prow of soft sediment or clast provides obstacle



(c) Lodgement of debris-rich ice mass



Vznik:

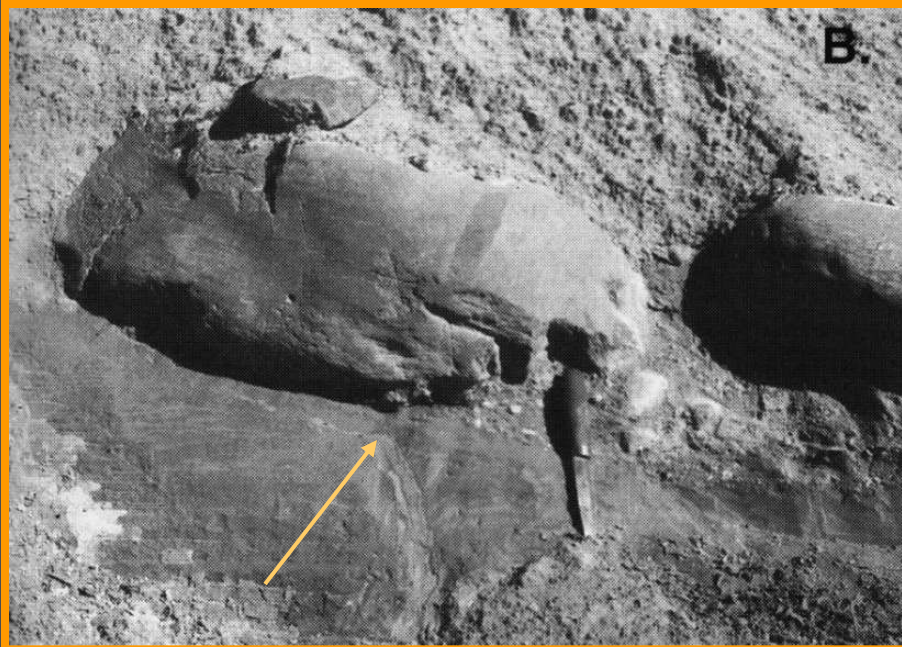
- Typický pro **subglaciální prostředí**, v **ablační zóně** ledovce, v menší míře také terminoglaciální oblasti. **Geneticky primární till**, **nejrozšířenější typ** na světě
- **Tlakové tání (regelace)** - kontakt ledu a podloží + teplo z tření
- Spodní vrstvy ledu - odpadávání materiálu do kontaktní zóny mezi ledem a jeho podložím - na náběžných stranách nerovností podloží
- **uchycení** uvolněného materiálu **na podloží**
- **akumulace** lodgement tillu + **zarovnání** = snadnější pohyb ledovce

Lodgement till

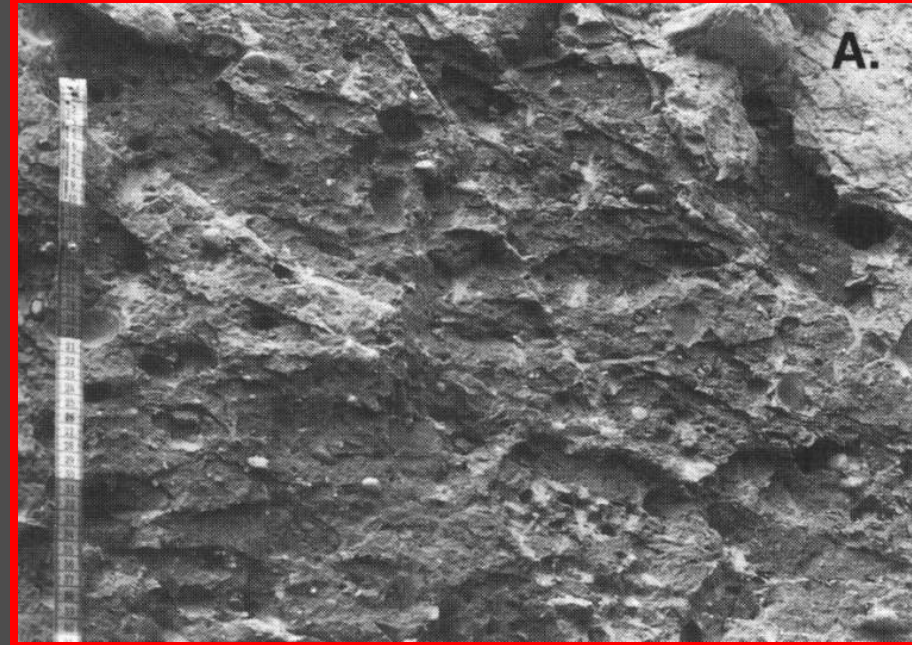
Charakteristika:

Textura - základem je **masívní textura s podpůrnou strukturou matrix**

Makro- + mikrotextury - deformační procesy - běžné u subglaciálních tillů (Británie, kontinentální Evropa, Severní Amerika, Himálaj, Antarktida)



Deformace na bázi subglaciálního tillu. Imbrikátně uložené balvany jsou v nadloží stříhové zóny. Klastická žíla pod velkým balvanem je porušena stříhem, San Martín de los Andes, Argentina

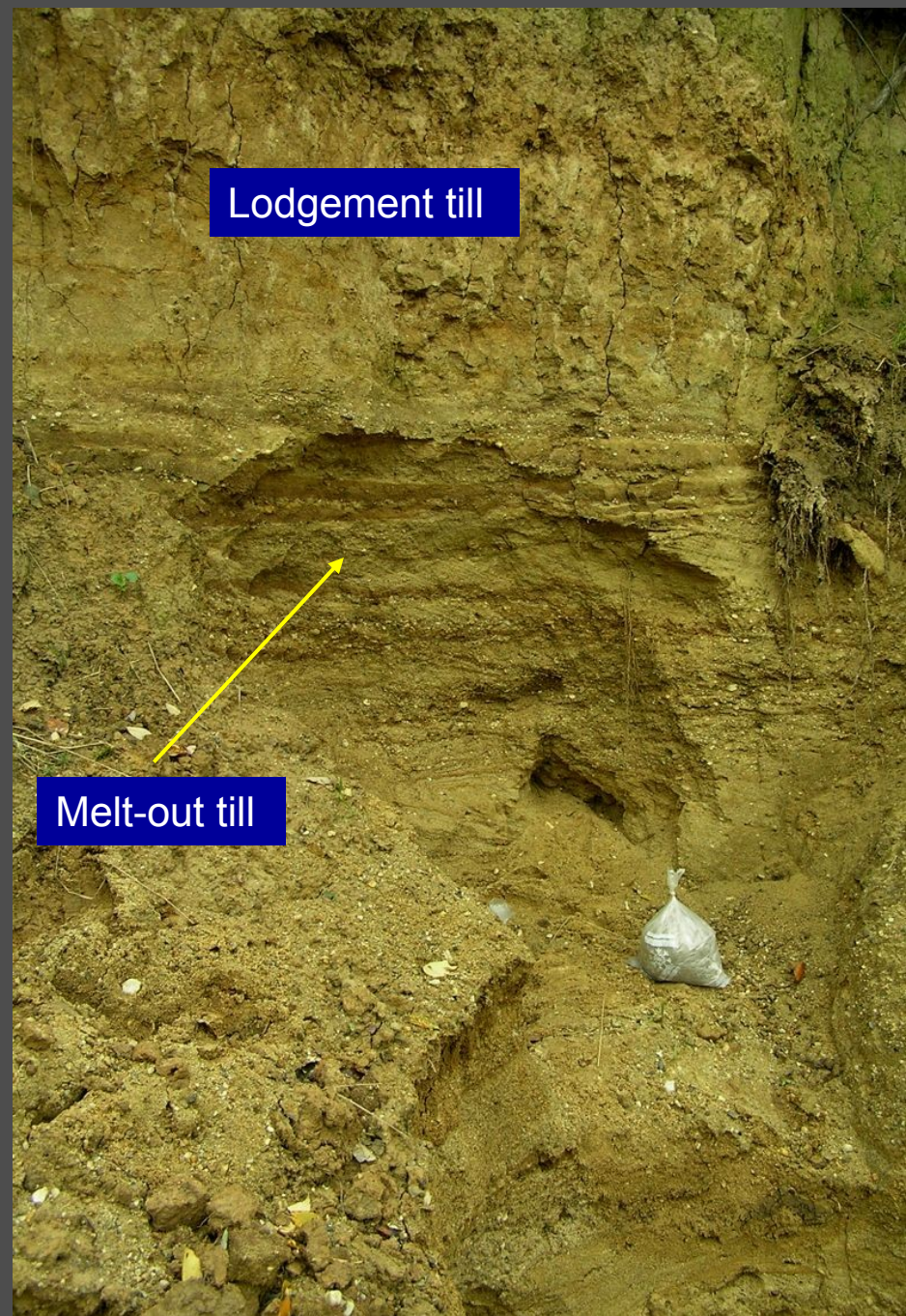
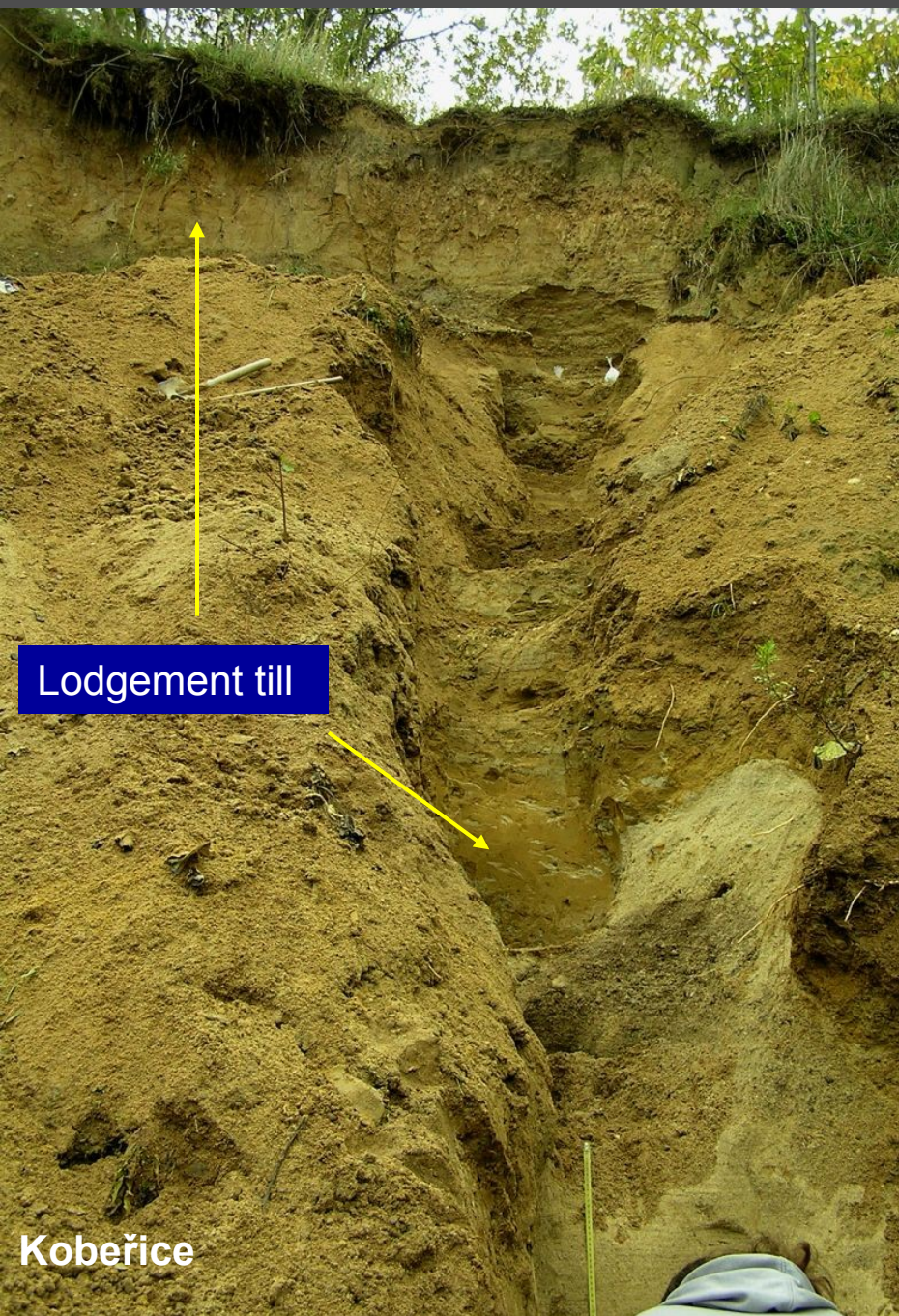


Typický subglaciální till s řídce roztroušenými úlomky a valouny hornin v jemnozrnné matrix, Müntscheimer, Švýcarsko.

Pukliny - subhorizontální, připomínají zvrstvení, puklinové plochy **ohlazené** nebo **rýhované**

Stříhové textury - postupem ledovce přes nezpevněný sediment

Bazální kontakt - **erozní + ostrý**, častá je **přítomnost** nahromaděných **klastů**. Orientace erozních prvků v podloží tillu a klastů nad kontaktem - **stejná**



Lodgement till

Sediment:

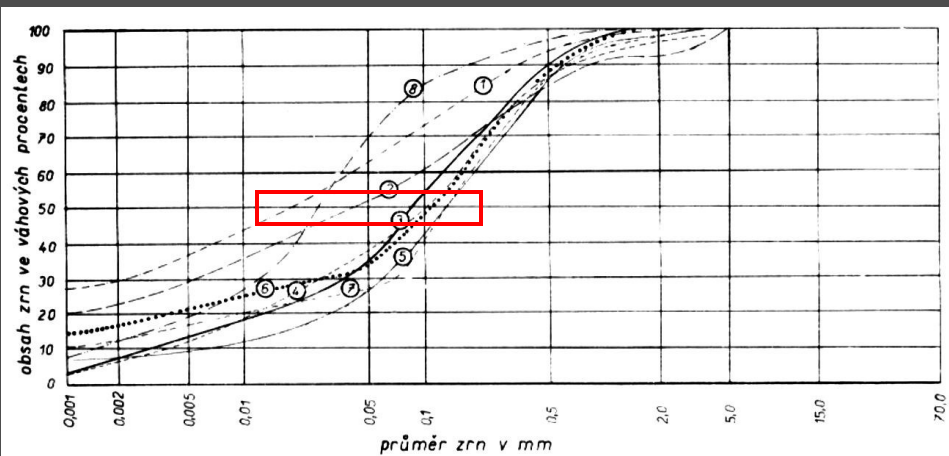
Mocnost - příliš plošně nekolísá, max. do několika metrů

Zrnitostní složení - bimodální až multimodální, maxima v štěrkové až písčito-prachové frakci. Na bázi (do 1 m) - značný vliv místního podloží

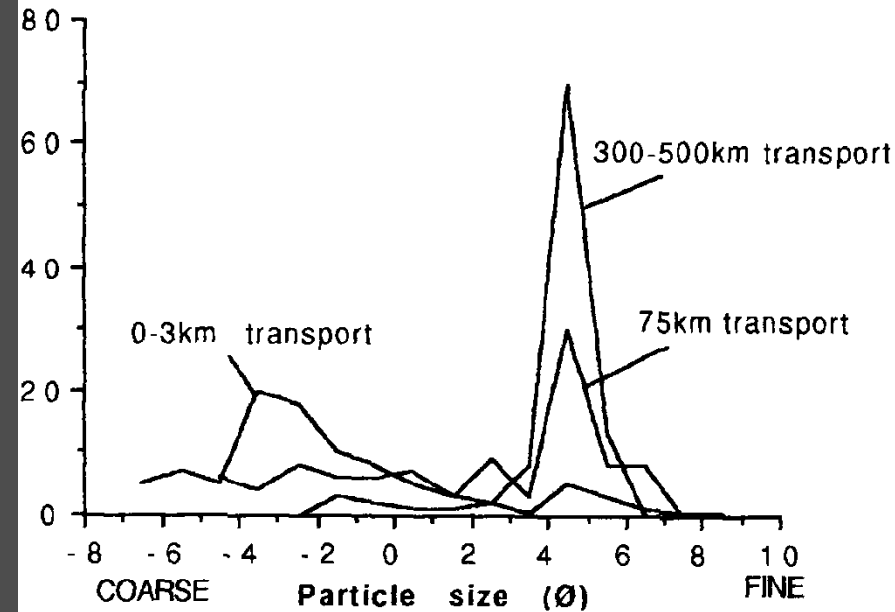
Vytrídění - špatné až extrémně špatné ($\sigma_I = 2$ až 7)

Šikmost - skoro symetrická až mírně negativní ($Sk_I = -0,3$ až 0,2)

Medián - u nás středně zrnité silty až jemnozrné písky ($Mz = 3$ až 6 Φ)



Zrnitostní křivka tillů elsterského zalednění, vrty - Hlučínsko



Klasy:

Tvar - pentagonální, žehličkovité, projektilové

Sféricita - vyšší hodnoty ($c/a > 0,35$)

Rýhování - ojedinělé (max. do několika %)

Orientace klastů - souhlasná se směrem pohybu ledovce, někdy slabá imbricace

Převaha subangulárních až suboválných klastů ($KVR = 0,25-0,5$), u vícecyklových klastů - suboválné až oválné ($KVR = 0,35-0,7$)

Subglaciální melt-out till



Definice: Subglaciální melt-out till - sediment ukládaný odtáváním na místě přímo z ledovce bez další deformace či transportu vodou.

Vznik:

- odtáváním ve stagnujících částech aktivně se pohybujícího ledovce
- z pasivního nepohyblivého ledovce
- typické pro **stagnaci** nebo **ústup ledovce**

Charakteristika:

Relativně zpevněné oproti lodgement tillům (odvodnění v důsledku tlaku ledovce), většinou v **nadloží lodgement tillů**

Textura - **masivní** nebo **vrstevnatá** (početné úlomky v bazální části ledovce) + **čočky měkkých** (laminovaných) **sedimentů** a **výplně englaciálních koryt**

Skluzové deformace, **odvodňovací kanálky**, **diapiry**, **zlomy** (častější než u lodgement tillů)

Bazální kontakt - **erozní** + **ostrý**, odtávající voda může vytvořit **korytové výplně** nebo **erozní výmoly**

Subglaciální melt-out tilly přecházejí do deformačních tillů - obtíže s odlišením

Subglaciální melt-out till

Sediment:

Mocnost - malá, několik dm až max 2 m, malý plošný rozsah

Zrnitostní složení - **hrubší než lodgement till**, variabilita zrnitostní frakce, plošně se rychle mění

Vytrídění - **špatné až velmi špatné** ($\sigma_I = 2$ až 5)

Medián - odpovídá **pískům** ($M_z = 0$ až 4 Φ) díky odnosu jemné frakce

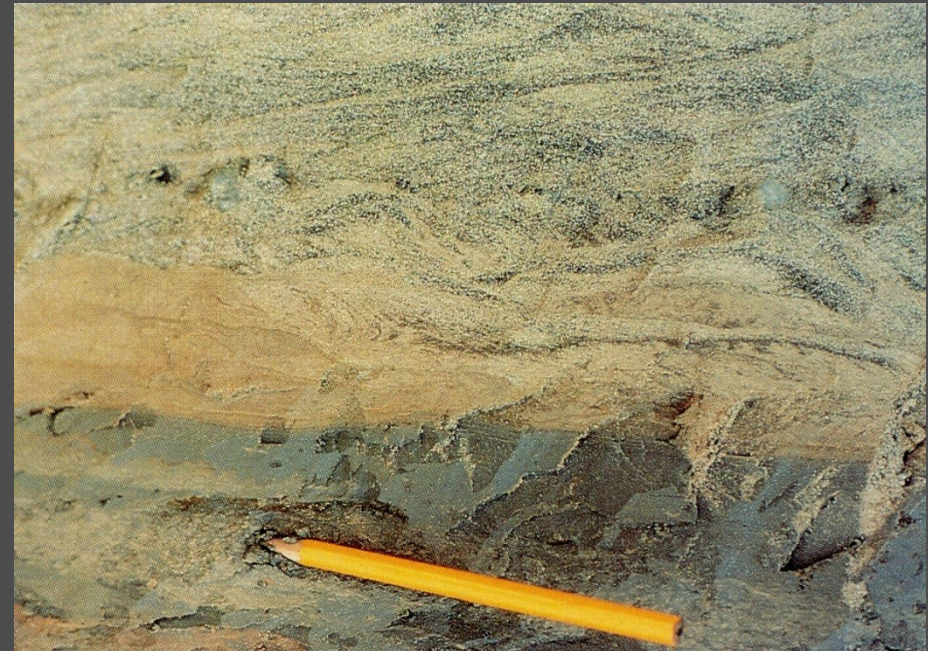
Klasty:

Tvar - nerozlišuje se

Rýhování - **velmi vzácně**

Orientace klastů - **souhlasná se směrem pohybu ledovce**, často slabá imbrikace

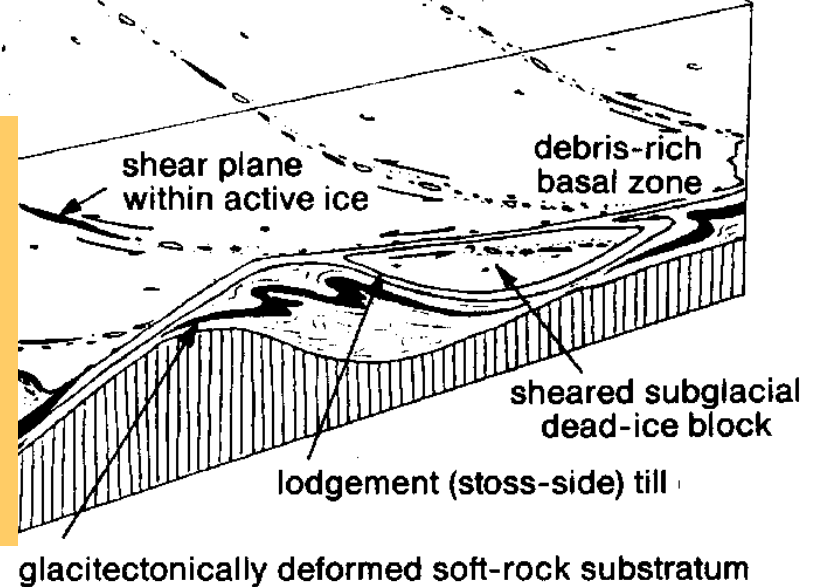
Převaha **subangulárních až suboválných klastů** ($KVR = 0,25-0,5$), u vícecyklových klastů - **suboválné až oválné** ($KVR = 0,35-0,7$)



Subglaciální melt-out till pod subglaciálními glacifluviálními písiky

Glacitektonit

Definice: Glacitektonit - subglaciálně duktilně deformované a křehkou deformací postižené podložní horniny (zpevněné i nezpevněné) s jasně viditelnými poruchami, které stále vykazují primární textury mateřského materiálu v nadloží tlakově neporušeného mateřského materiálu a pod deformačním tillem již bez zachovaných primárních textur.



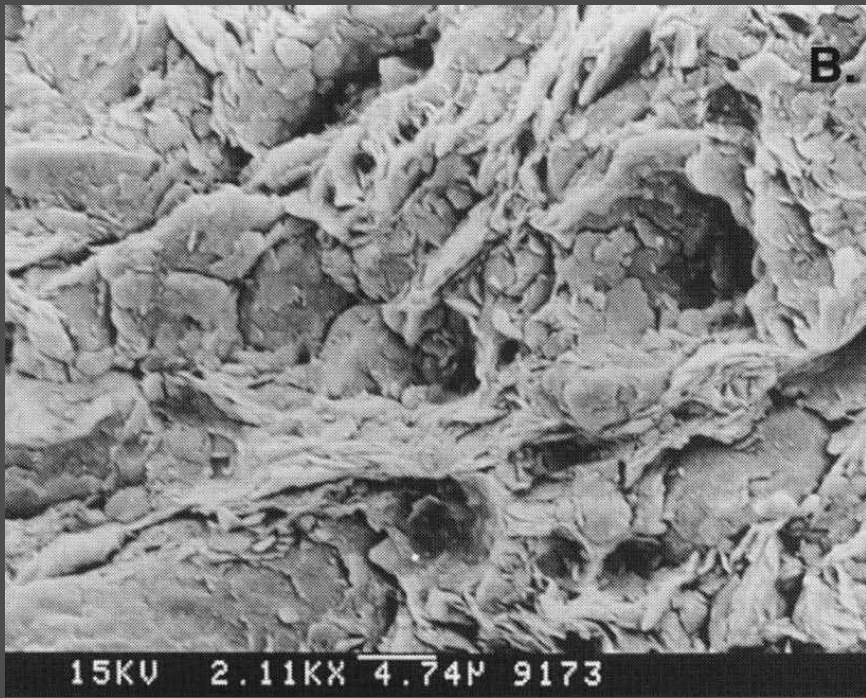
Deformační till

Definice: Deformační till - homogenní nevytříděný sediment vytvořený ledovcem způsobený střižnými pohyby podložního materiálu v **subglaciálním** prostředí, ve kterém se již nezachovávají primární textury původních (zpevněných či nezpevněných) hornin.



- ❖ deformační till bez zachovaných primárních textur
- ❖ křehká deformace glacitektonitu s jasně viditelnými poruchami, primární textury přítomny
- ❖ duktilně deformovaný glacitektonit (neporušený glacitektonit)
- ❖ nepostižený mateřský materiál

Porušený glacitektonit (se zbytky primárních textur původního lodgement tillu staršího zalednění)



Vlevo ukloněné střížné zóny v matrix písčitého deformačního tillu indukují pohyb ledovce směrem doprava.

Z mikroskopické struktury jemnozrné matrix tillu lze prostřednictvím orientovaných vzorků určit směr pohybu ledovce



Deformační till (primární textury jsou již setřeny; v nadloží již neporušený lodgement till)



Břidličnatá struktura matrix s prodlouženými klasty ukloněnými doprava indikuje pohyb ledovce směrem doleva.

Supraglaciální melt-out till (ablační till)

Definice: Supraglaciální melt-out till - sediment ukládaný odtáváním na **povrchu ledovce** nebo za chladných podmínek i sublimací v ledovcové a terminoglaciální oblasti, a to **bez další deformace či transportu vodou**.

Vznik:

- během stagnace nebo ústupu ledovce, proto v nadloží lodgement nebo subglaciálního melt-out tillu

Sediment:

Mocnost - až první desítky metrů, zachování je limitováno glacifluviální erozí

Textura - **masivní** někdy subparalelní zvrstvení

Zrnitost - převaha **šterkové frakce** ($Mz = -5$ až -2Φ), **bloky hornin**

Vytřídění - **špatné až extrémně špatné** ($\sigma_I = 2$ až 6)

Orientace klastů **slabá** nebo **bez orientace**



Ledovcové štíty - relativně **vyšší podíl nordik** (z englaciálních nebo supraglaciálních poloh); převaha **subangulárních až suboválných klastů** ($KVR=0,25-0,5$)

Horské zalednění - významný obsah materiálu z okolních nunataků; **převaha angulárních až subangulárních klastů**.

2. Sekundární tilly

Subglaciální flow till

Definice: Flow till - sekundární till vznikající gravitačně (skluzem, sesouváním) podmíněnou resedimentací materiálu uloženého ledovcem.

Sediment:

Mocnost - do prvních metrů, omezený plošný rozsah

Textura - **podpůrná struktura matrix** (bahnotoky), kumulace větších klastů v bazálních částech. Často tvoří **čočky** nebo **vrstvičky** v glacifluviálních píscích

Zrnitost - převaha **šterkové a písčité frakce** ($Mz = -3$ až 3Φ)

Vytřídění - **špatné až velmi špatné** ($\sigma_I = 2$ až 5)

Orientace klastů - **bez orientace** nebo **ve směru skluzu** (tj. bez vztahu k pohybu ledovce)

Ostatní parametry - podobně jako supraglaciální melt-out till.

Vznik:

- v subglaciální a supraglaciální části ledovcové oblasti a v terminoglaciální oblasti ledovcového systému.



Poloha subglaciálního flow tillu uvnitř glacifluviálních písků

Glacifluviální sedimenty

Definice: Proglaciální sedimenty uložené tekoucí vodou, které jsou složeny převážně z písku a štěrku. Prachová komponenta (+jíl) - odnesena v suspenzi

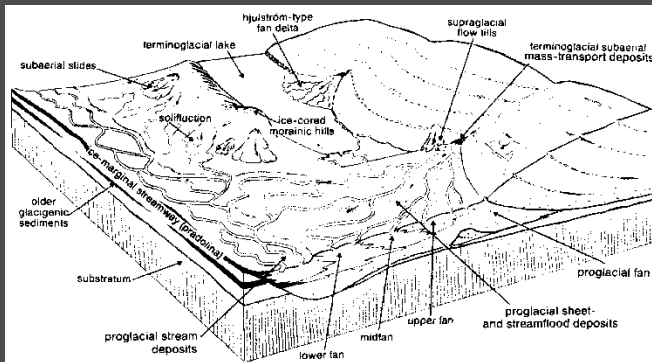
Vznik:

- po proudu od ledovce a koncových morén
- vytváří ploché akumulční povrchy s mírnými svahy

Sediment:

Zrnitost - převaha štěrkové a písčité frakce ($Mz = -3$ až 3Φ)

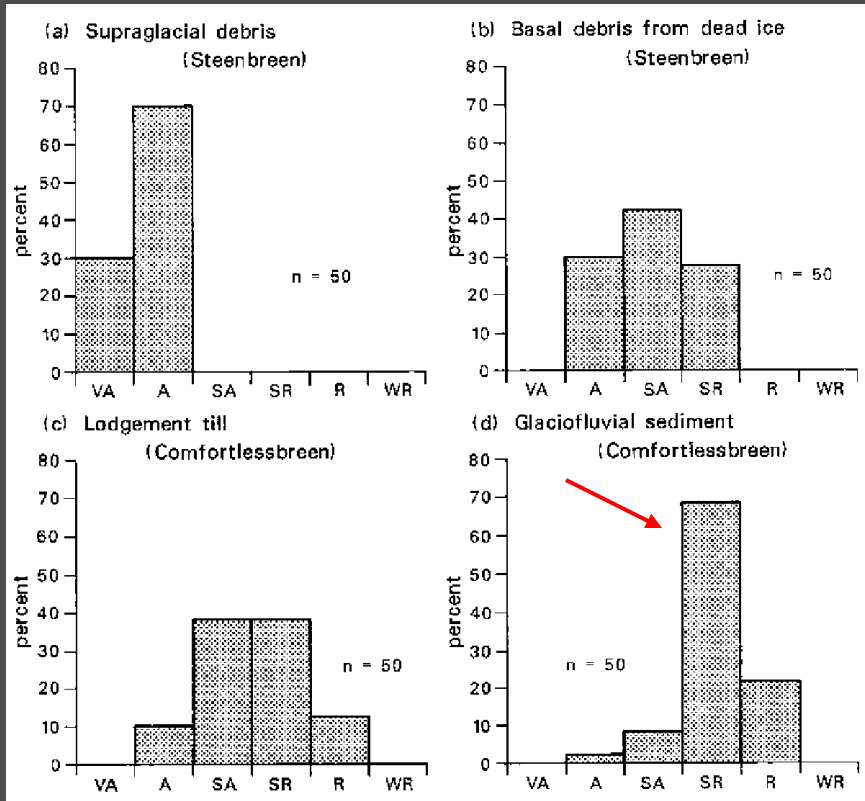
Vytřídění - špatné až velmi špatné ($\sigma_I = 1,40$ až $2,60$ pro středně až jemnozrnné písky; $\sigma_I = 2$ až $2,60$ pro mnohé hrubozrnné písky $\sigma_I = 2,60$)



The proglacial subenvironment with some of the most common features.

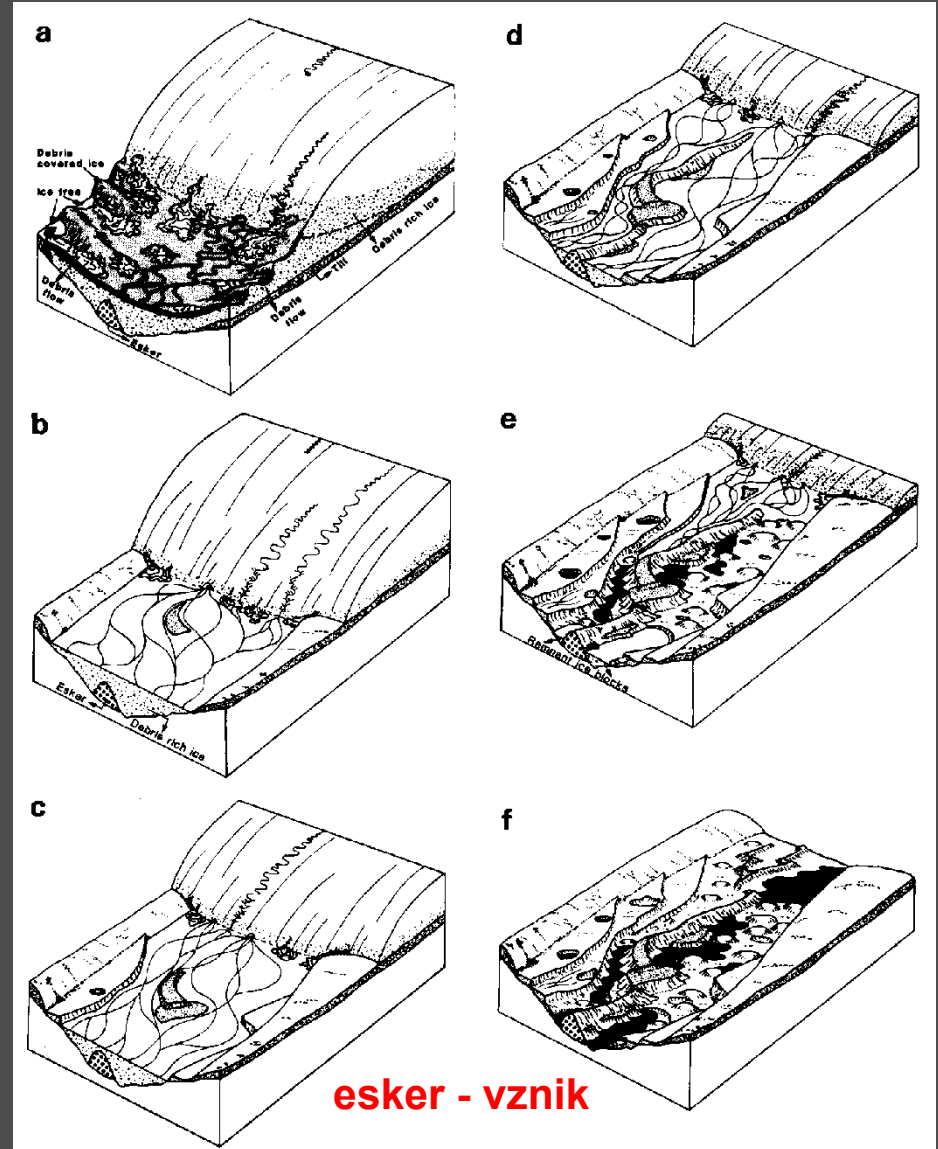
Svrchní část - chaotické zvrstvení, žádné vytrídění

Spodní část - relativně jemnozrnnější, uložení tokem se stálým průtočným množstvím, jemná komponenta odplavena, slabé vytrídění



Subglaciální oblast

Eskery - dlouhé valy podobné morénám vzniklé vyplněním subglaciálních koryt glacifluviálními sedimenty. Směřují k čelním morénám kolmo a materiál je zrnitostně vytríděný.

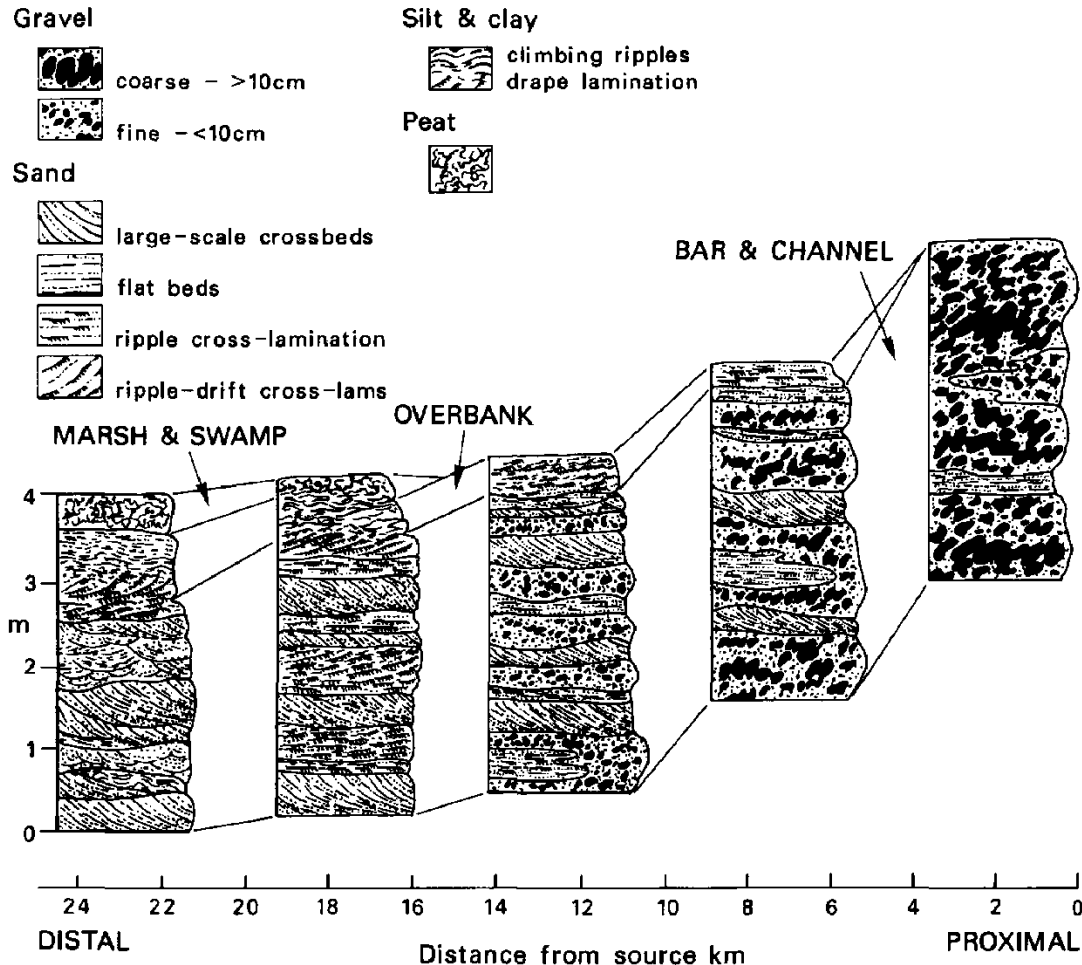
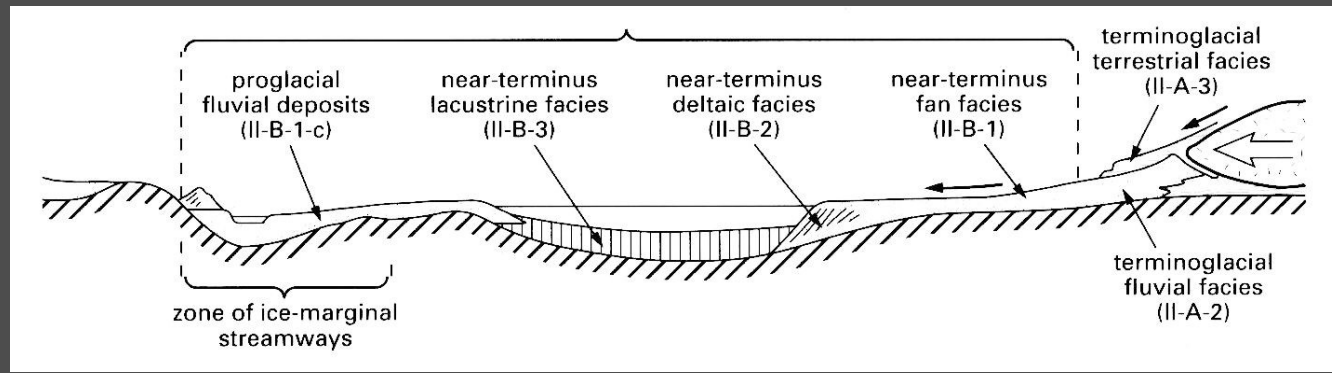






Proglaciální oblast

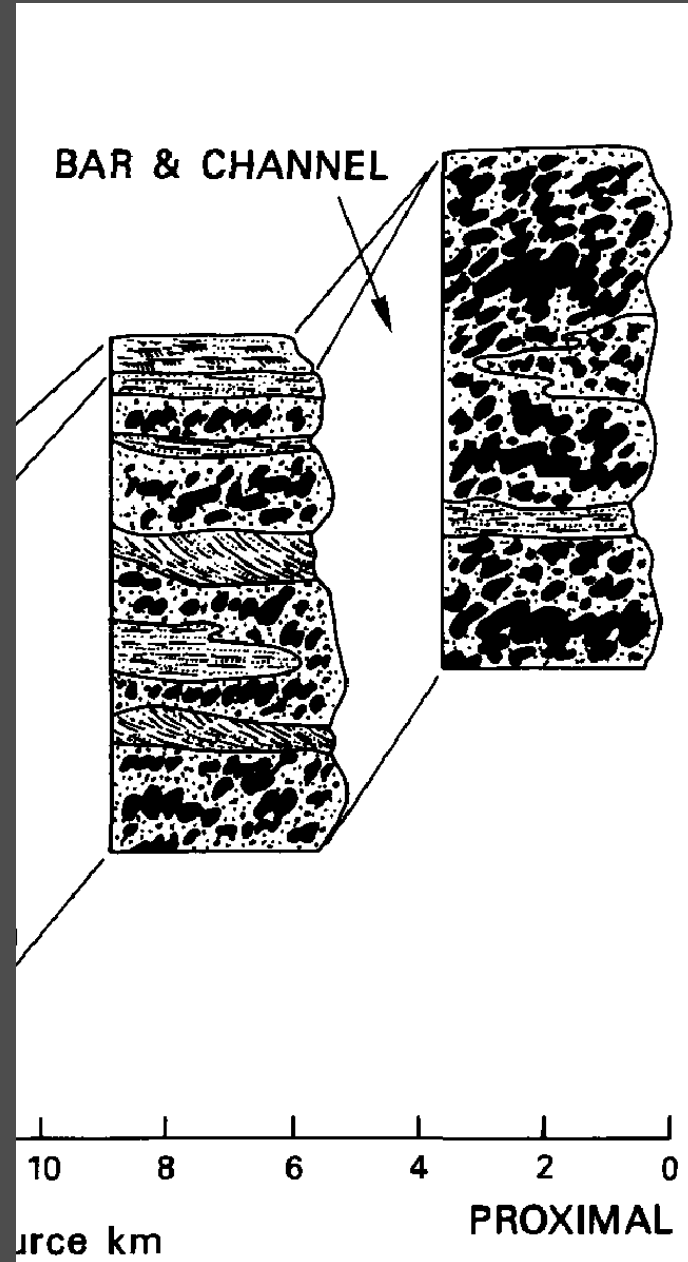
- proximální zóna
- střední zóna
- distální zóna



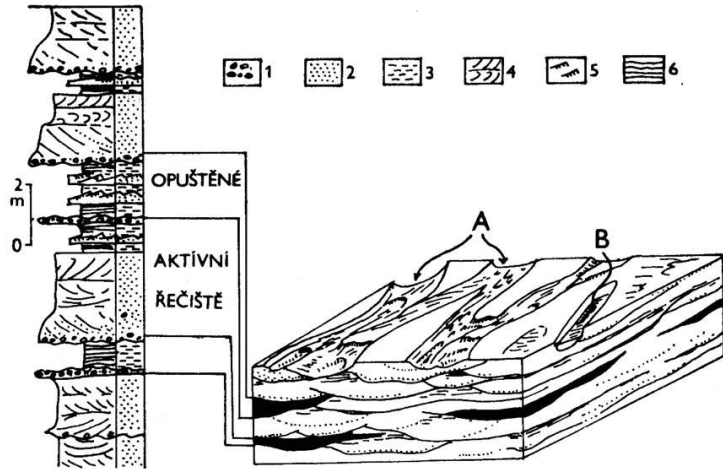
sandry - mocné výplavové kužele na okrajích ledovců



Proglaciální oblast – proximální zóna, fluviální + aluviální sedimentace



Proglaciální oblast – střední zóna, sedimenty divočících řek



90. Schéma divočící řeky a výsledného sledu sedimentů: A – aktivní řečiště, B – opuštěné řečiště. Jemné sedimenty se usazují v opuštěných řečištích, niva není vyvinutá. 1 – slepence, 2 – pískovce, 3 – prachovce a jílovce, 4 – výmolvé šikmé zvrstvení a deformace vrstev, 5 – jemné čerňovité zvrstvení, 6 – horizontální zvrstvení. Selley (1976).



Proglaciální oblast – distální zóna, přechod do fluviální sedimentace



Glacilakustrinní sedimenty

Definice: Proglaciální usazeniny charakteristické páskovanými sedimenty (varvy, páskované písky, jíly)

Vznik:

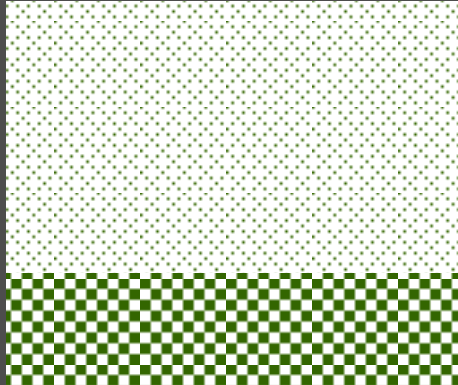
- z tajících ledovců v předpolí kontinentálního ledovce
- většinou sedimentace materiálu do relativně klidných stojatých vod

Sediment:

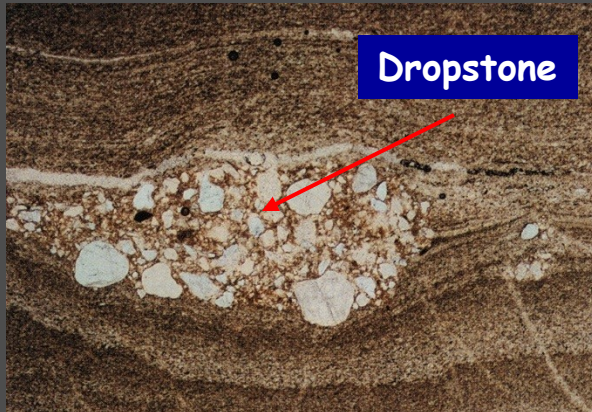
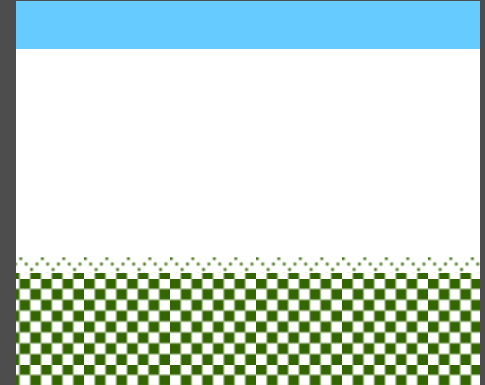
Zrnitost - jemný písek, silt nebo jíla

Varvy - laminace vzrůstá v důsledku ročního kolísání přísunu materiálu - každoroční ukládání → datování, možno vztáhnout i ke kalendářní časové škále

jaro + léto

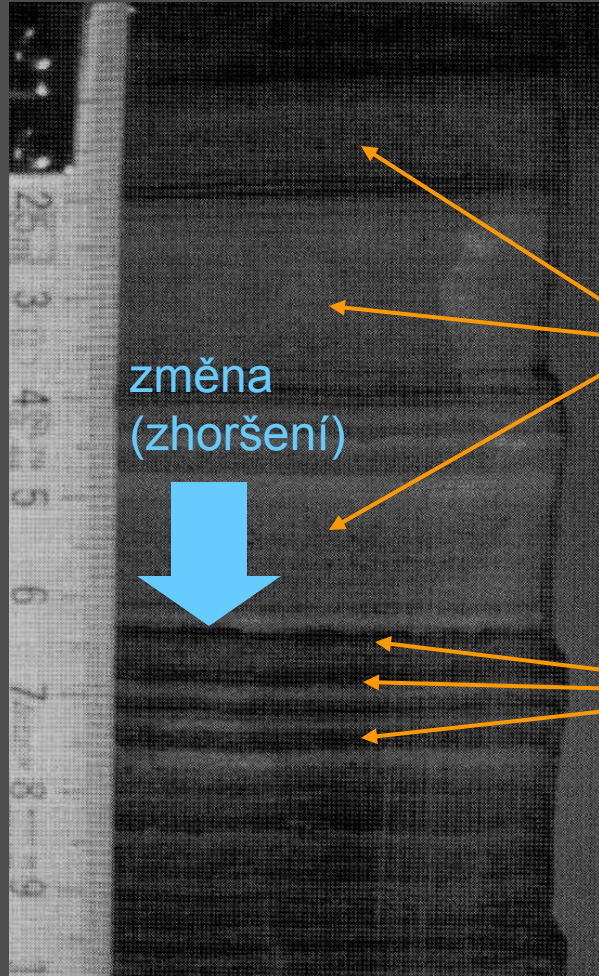


zima



Glacilakustrinní sedimenty

Jezero Heinälampi, Finsko



změna
(zhoršení)

léto –
planktonické
diatomity

podzim, zima,
jaro – bez
diatomitů

