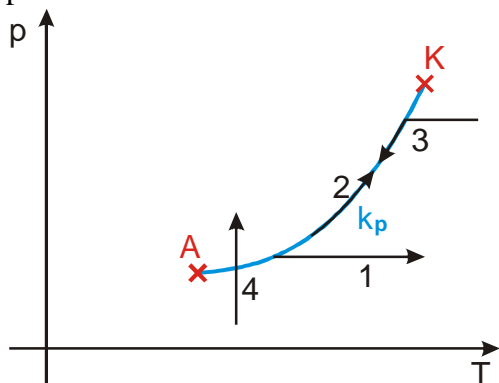


## 2.6.7 Fázový diagram

**Předpoklady:** 2606

**Př. 1:** Popiš děje zakreslené v diagramu křivky syté páry. Za jakých podmínek mohou proběhnout?

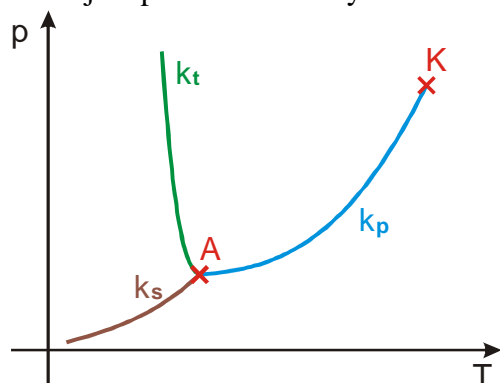


- 1) Sytá pára je za stálého tlaku zahřívána. Zvětšuje svůj objem a stává se přehřátou párou. Pára nemůže být během zahřívání v kontaktu s kapalinou.
- 2) Kapalina, která je v rovnovážném stavu se svou sytou párou, je postupně zahřívána. Kapalina se udržuje v rovnováze se sytou párou, během děje se zvyšuje tlak syté páry.
- 3) Přehřátá pára je ochlazována za stálého tlaku, změní se na sytou páru a začíná se měnit na kapalinu. Při dalších ochlazování po křivce syté páry se snižuje kromě teploty i tlak.
- 4) Přehřátá pára je stlačována za stálé teploty, začne se měnit na kapalinu, při kapalnění je neustále stlačována (aby se nezměnil tlak), po změně veškeré páry na kapalinu je vzniklá kapalina dále stlačována.

Změny skupenství neprobíhají pouze mezi párou a kapalinou (přes křivku syté páry), ale i mezi kapalinou a pevnou látkou nebo mezi pevnou látkou a plynem  $\Rightarrow$  pokusíme se doplnit obrázek o další křivky.

**Křivka tání  $k_t$ :** Křivka rovnováhy mezi kapalinou a pevnou látkou začíná z bodu A (nejnižší teplota, při které se může vyskytovat kapalina v rovnováze se svojí párou), při nižších teplotách se voda mění v led. Teplota tání klesá s rostoucím tlakem (velmi málo)  $\Rightarrow$  křivka tání půjde z bodu A velmi rychle nahoru a málo doleva. Zatím není jasné, zda je ukončena.

**Sublimační křivka  $k_s$ :** Křivka rovnováhy mezi párou a pevnou látkou začíná z bodu A a směřuje k počátku soustavy souřadnic.

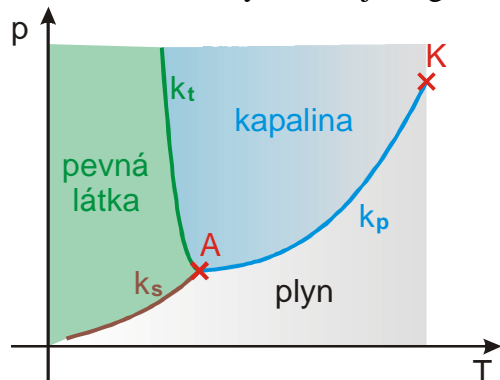


**Bod A – trojný bod** – znázorňuje rovnovážný stav všech tří skupenství téže látky (pevného, kapalného a plynného)  $\Rightarrow$  všechny tři skupenství látky mohou být v rovnováze pouze za těchto přesných podmínek  $\Rightarrow$  proto byl trojný bod vody zvolen za základní teplotu termodynamické teplotní stupnice.

Trojný bod:

- voda:  $p_A = 611 \text{ Pa}$ ,  $T_A = 273,16 \text{ K} = 0,01^\circ\text{C}$
- kyslík:  $p_A = 152 \text{ Pa}$ ,  $T_A = 54,4 \text{ K} = -218,8^\circ\text{C}$
- grafit:  $p_A = 10,1 \text{ MPa}$ ,  $T_A = 4765 \text{ K} = 4492^\circ\text{C}$

Rovnovážné křivky rozdělují diagram do tří polí:



Šedě vybarvená část grafu znázorňuje podmínky, ve kterých může látka existovat v rovnovážném stavu pouze jako pára.

- Umístíme-li do takových podmínek kapalinu, vypaří se (ale během vypařování musíme zajistit odvod páry, aby se nevyšil tlak).
- Umístíme-li do takových podmínek pevnou látku, vysublimuje (ale během sublimace musíme zajistit odvod páry, aby se nevyšil tlak).

**Př. 2:** Co by se stalo, kdybychom umístili do podmínek odpovídajících modré ploše ve fázovém diagramu vodní páry? Jak by se situace vyvíjela, kdyby byla vodní pára v uzavřené nádobě o stálém objemu? Co bychom museli s párou dělat, aby se bod, který popisuje páru v diagramu, v obrázku nepohyboval?

Modrá plocha ve fázovém diagramu značí podmínky, ve kterých může v rovnovážném stavu existovat kapalina. Průběh pokusu závisí na dalších podmínkách.

Pokud je pára uzavřena v nádobě o stálém objemu, začne kapalnět, tím se bude snižovat její tlak. Bod znázorňující děj se bude pohybovat dolů směrem ke křivce syté páry.

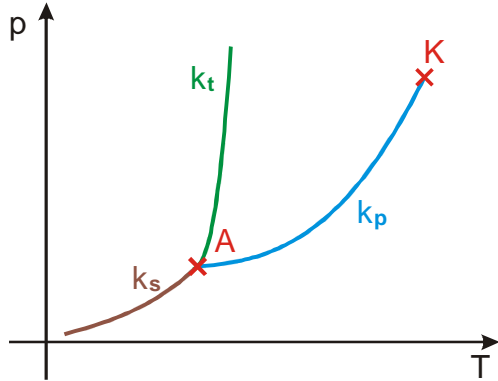
Pokud bychom chtěli zabránit pohybu bodu v diagramu, museli bychom při zkapalňování páry:

- udržovat stálý tlak  $\Rightarrow$  museli bychom neustále zmenšovat objem páry, abychom udrželi stále stejnou hustotu částic,
- udržovat stálou teplotu  $\Rightarrow$  museli bychom neustále odvádět teplo, které uvolňuje pára při zkapalňování.

Pokud bychom udrželi zmenšováním objemu stále stejný tlak i stále stejnou teplotu, veškerá pára by postupně zkapalněla.

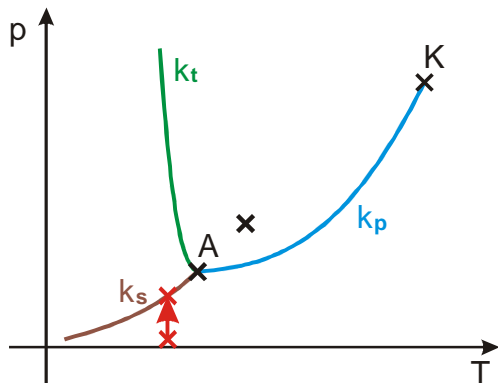
**Př. 3:** Chování vody během tání není příliš typické (teplota tání s rostoucím tlakem klesá). Nakresli fázový diagram typické látky (třeba vosku, u kterého teplota tání s tlakem roste).

Většina látek během tání zvětšuje svůj objem  $\Rightarrow$  s vzrůstajícím tlakem stoupá jejich teplota tání  $\Rightarrow$  křivka tání bude prohnutá na opačnou stranu.



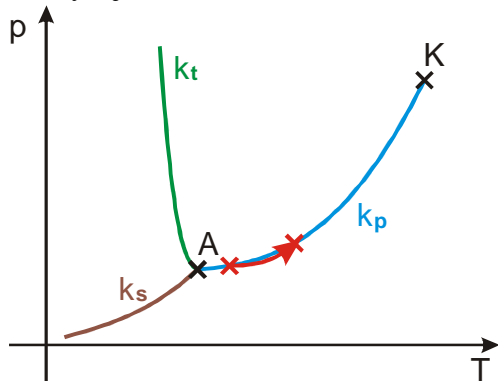
**Př. 4:** Zakresli do fázového diagramu děj, při kterém umístíme při teplotě nižší než  $0^\circ\text{C}$  do uzavřené nádoby s velmi malou hustotou páry kus ledu.

Led začne sublimovat, zvyšuje se tlak páry, dokud se neustaví rovnováha na sublimační křivce.



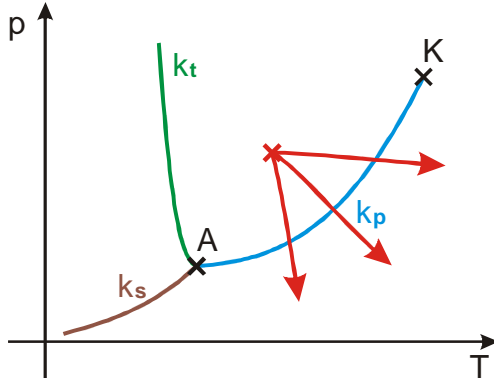
**Př. 5:** Z ledničky vyndáme do místnosti uzavřenou PET láhev se zbytkem vody. Zakresli do fázového diagramu děj, který probíhá v láhvi.

Po vyndání láhve se začne zvyšovat teplota  $\Rightarrow$  kapalina se začne vypařovat  $\Rightarrow$  postupně se zvyšuje i tlak, dokud se neustaví nová rovnováha na křivce syté páry.

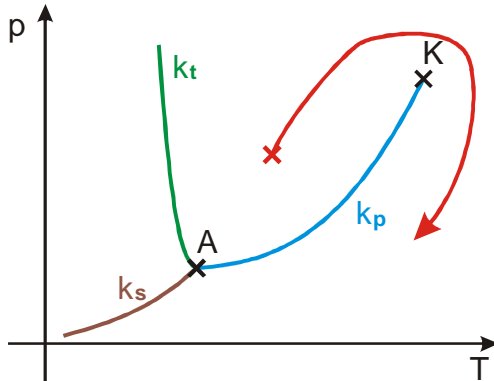


Dva způsoby, jak změnit kapalinu na plyn:

- Přejdeme přes křivku syté páry  $\Rightarrow$  v průběhu přeměny se vytvoří rozhraní mezi kapalinou a párou.



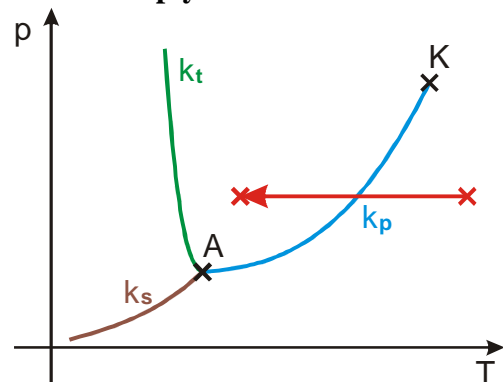
- Obejdeme kritický bod na diagramu zvýšením tlaku a teploty  $\Rightarrow$  v průběhu přeměny se rozhraní mezi kapalinou a párou nevytvoří, soustava bude celou dobu homogenní.



**Př. 6:** Navrhni, jakými způsoby je možné zkapalnit plyn. Zakresli děje do fázového diagramu. Za jakých podmínek je můžeme použít?

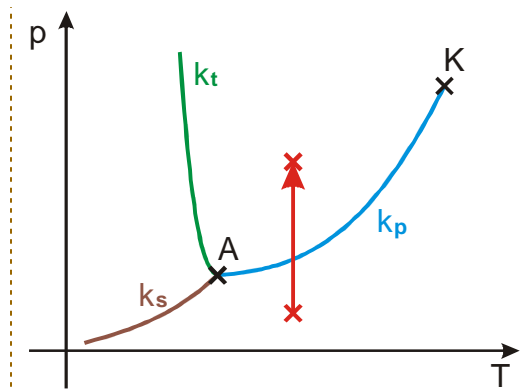
Dvě základní možnosti (a jejich kombinace).

#### Ochlazení plynu



Plyn musí mít dostatečný tlak, aby nedesublimoval na pevnou látku.

#### Stlačení plynu



Teplota plynu musí být nižší než jeho kritická teplota.

V technické praxi se častěji zkapalňuje stlačováním.

**Shrnutí:** Existují rovnovážné křivky i mezi dalšími skupenstvími (křivka tání a sublimační křivka). Společně pak tvoří fázový diagram, ve kterém můžeme zjistit, v jakém skupenství se za daných vnějších podmínek bude látka v rovnovážném stavu nacházet.