

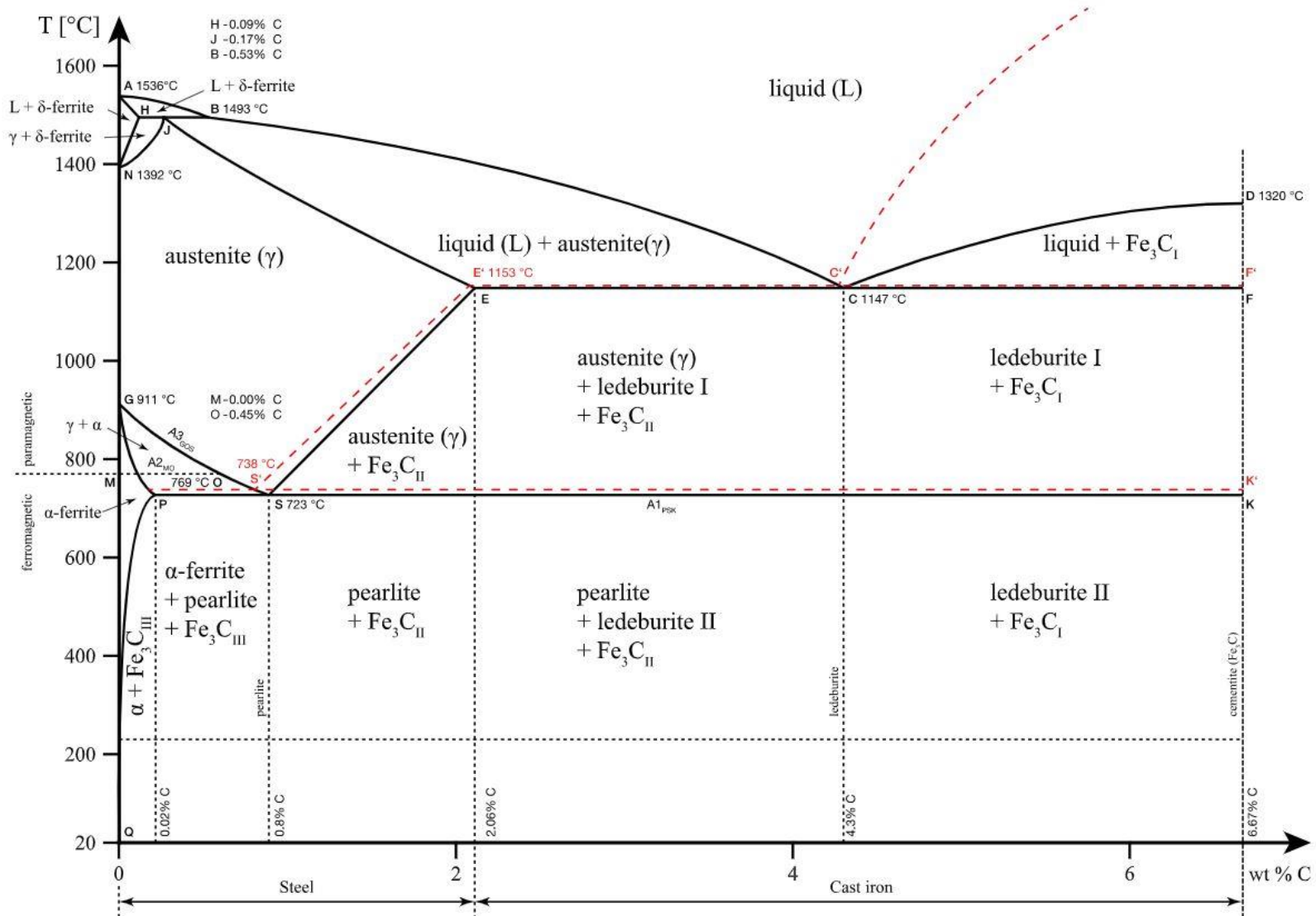
# Geležies ir anglies lydiniai

Lekt. dr. Žilvinas Kryževičius

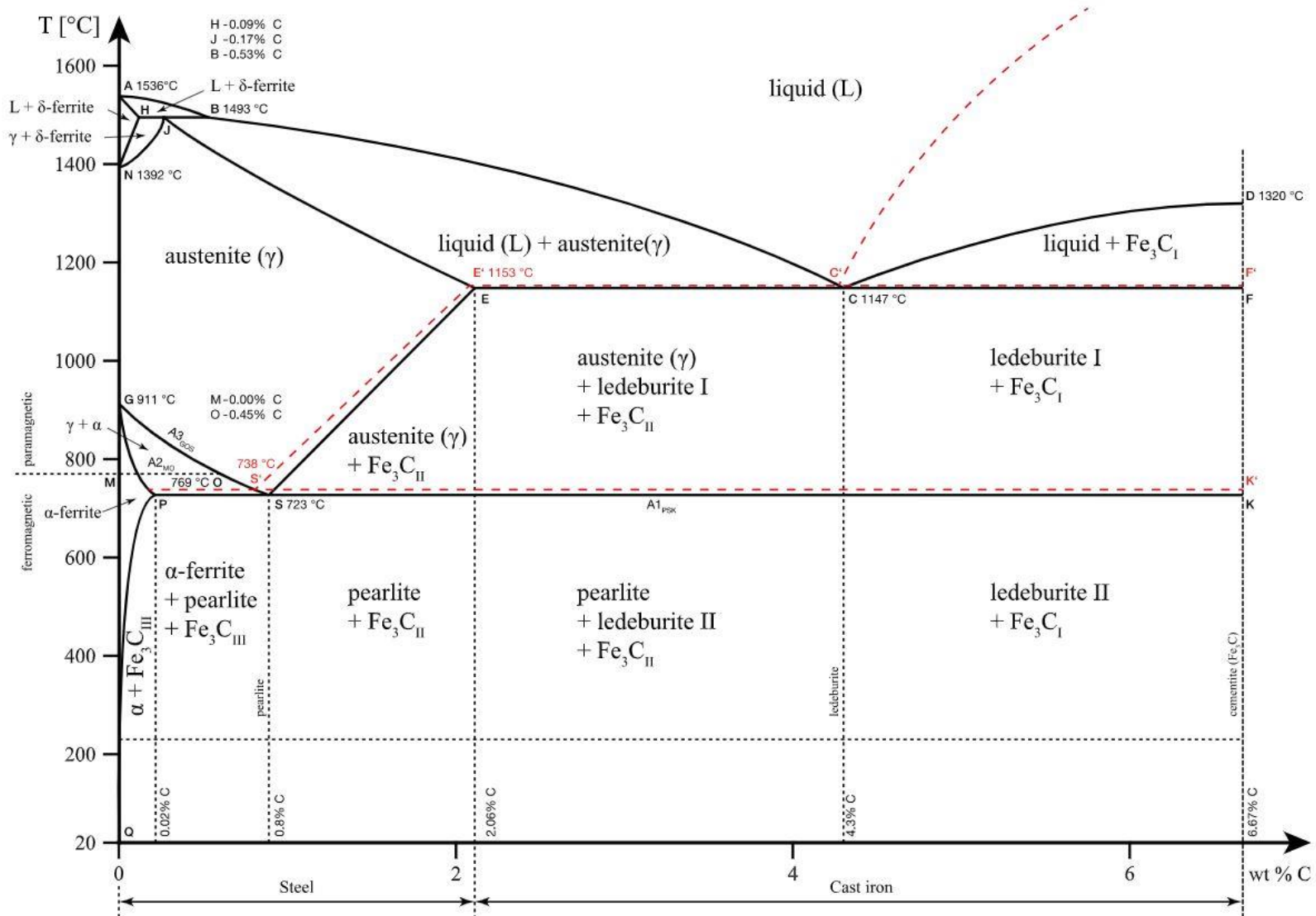
# Plieno ir ketaus cheminė sudėtis

- Geležis – sidabriškai baltos spalvos metalas. Jos atominis numeris 26, atominė masė 55,8, atomo spindulys 0,127 Nm, lydymosi temperatūra 1539°C. Geležis – polimorfinis metalas. Iki 768°C geležis feromagnetinė, aukščiau šios temperatūros – paramagnetinė.
- Anglis – nemetalinis elementas. Jos atominis numeris 6, atominė masė 12, atomo spindulys 0,077 Nm, lydymosi temperatūra 3500°C. Esant normaliam slėgiui, anglies kristalinė gardelė heksagonine gardele vadinama grafitu. Grafitas – minkšta, nestipri medžiaga. Jis atsparus cheminiam poveikiui, laidus elektrai.

# Geležies-anglies lydinių būvio diagrama

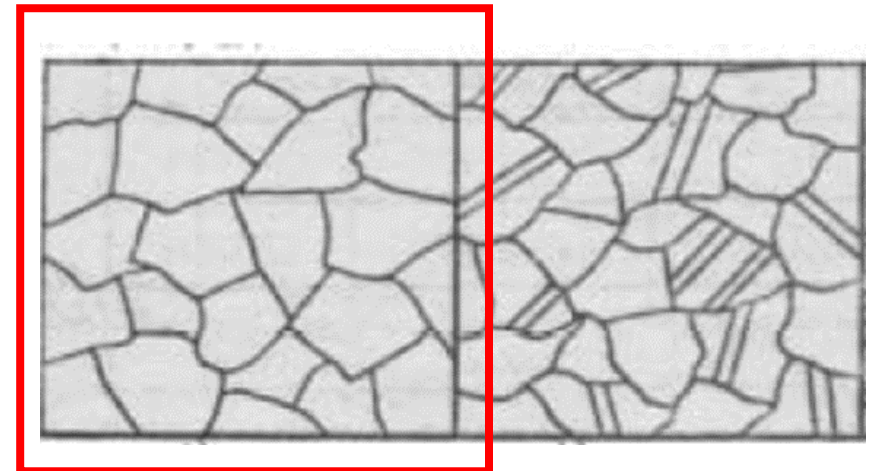


# Geležies-anglies lydinių būvio diagrama



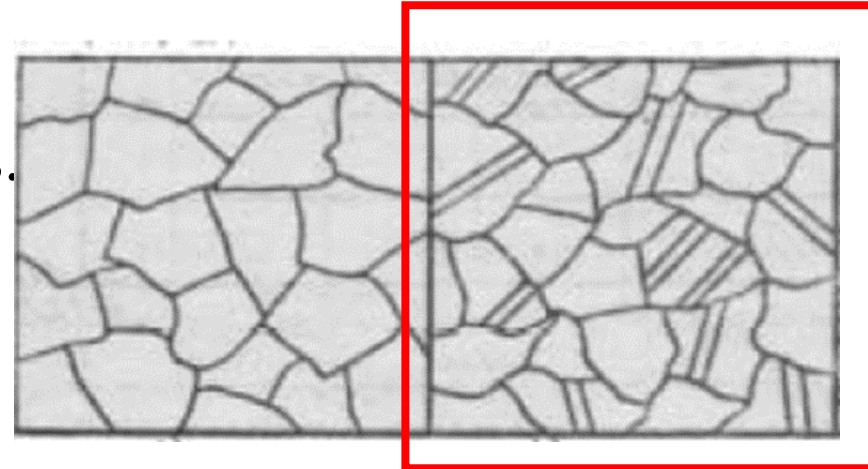
# Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemos lydinių fazės (1)

- Skysta fazė – skystas geležies ir anglies atomų tirpalas.
- Feritas – kietasis anglies tirpalas  $\alpha$  geležyje. Jame anglies atomai yra įsiterpę į  $\alpha$  geležies kristalinę gardelę. Skiriamas žematemperatūrinis (iki 910°C)  $\alpha$  feritas ir aukštatemperatūrinis (daugiau negu 1392°C)  $\delta$  feritas. Feritas minkštas ir plastiškas. Mikroskopo matymo lauke ferito grūdeliai yra šviesūs.
- Kietumas – 60-100 HB.



# Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemos lydinių fazės (2)

- Austenitas – kietasis anglies tirpalas  $\gamma$  geležyje. Jame anglies atomai yra įsiterpę į  $\gamma$  geležies kristalinę gardelę. Daugiausia anglies  $\gamma$  geležyje gali ištirpti 1147 °C temperatūroje – 2,14 % (taškas E). Žemėjant temperatūrai, anglies tirpumas austenite mažėja. 727 °C temperatūroje austenite gali ištirpti 0,8 % C. Austenitas su tokia anglies koncentracija tampa nepatvariu ir skyla į ferito ir cementito fazių mišinį, vadinama perlitu. Austenitas, kaip feritas, yra plastiška fazė, jo grūdeliams būdingas dvilinkio deformacijos linijos. Kietumas – 200 HB.

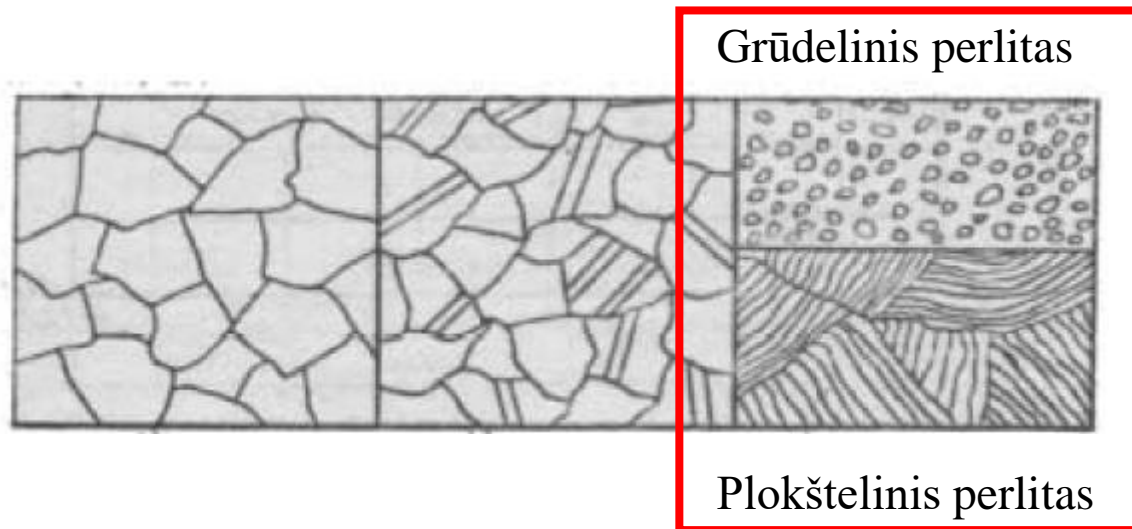


# Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemos lydinių fazės (3)

- Cementitas – cheminis geležies-anglies junginys Fe<sub>3</sub>C. Anglies koncentracija cementite 6,67 %. Cementito kristalinė gardelė sudėtinga. Cementitas labai kietas ir trapus. Pro mikroskopą jis matomas šviesaus tinklelio, baltų grūdelių arba adatėlių pavidalu. Lyginant su feritu, cementitas labiau blizga. Kietumas – 800 HB.

# Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemos lydinių fazės (4)

- Perlitas tai auštančio austenito skilimo 727°C arba žemesnėje temperatūroje produktas, susidedantis iš cementito (apytiksliai 12 %) ir ferito (likusi dalis) plokštelių mišinio. Kietumas apie 180-220 HB.

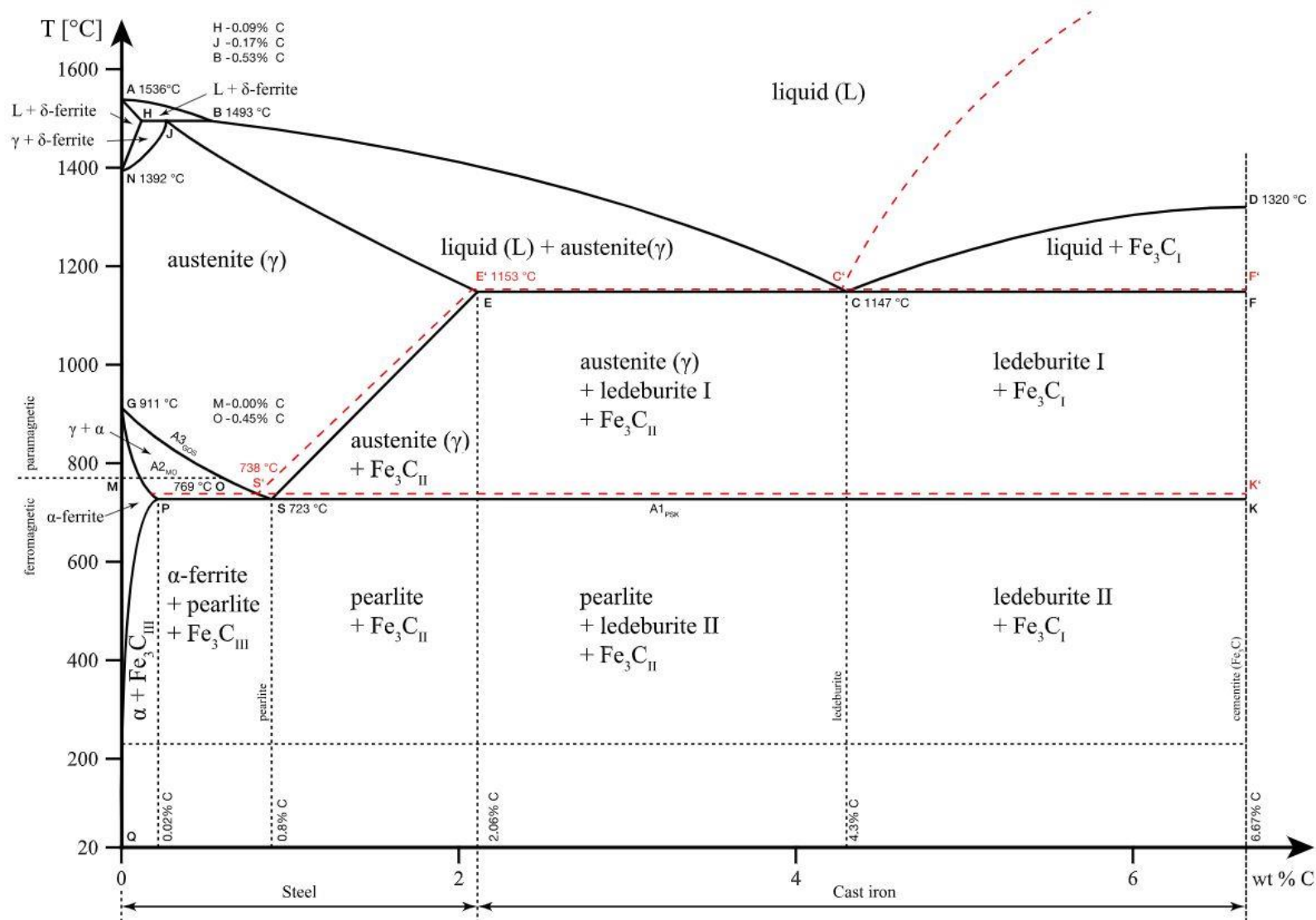




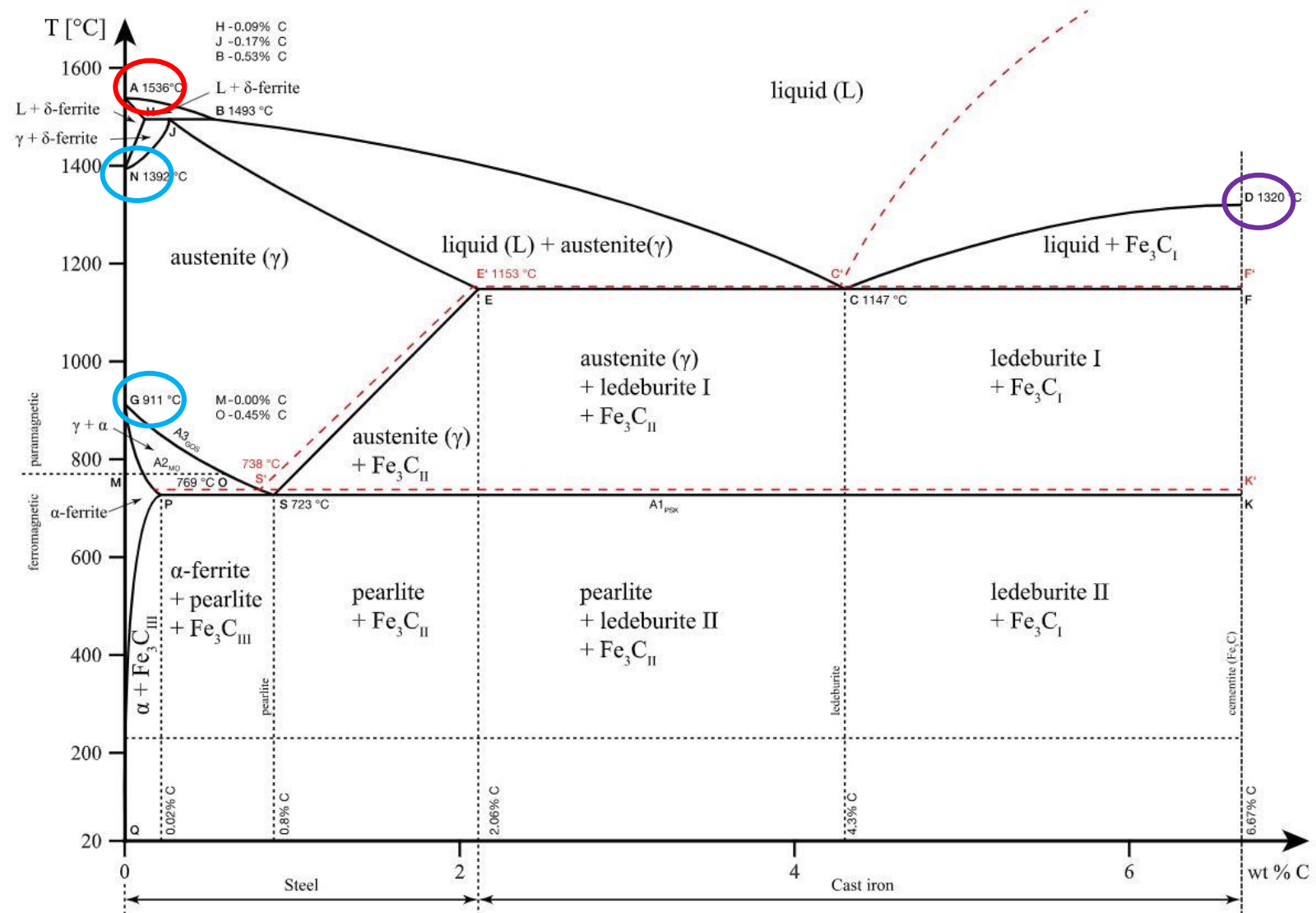
# Fe-Fe<sub>3</sub>C sistemos lydinių fazės (5)

- Ledebutitas – tai eutektinės sudėties (4,3%) skystojo tirpalo kristalizacijos 1147°C temperatūroje produktas, susidedantis iš austenito stiebelių cementite. Žemesnėje kaip 727 °C temperatūroje austenito stiebeliai virsta perlito stiebeliais. Perlitinio ledeburito kietumas didesnis nei 600 HB.

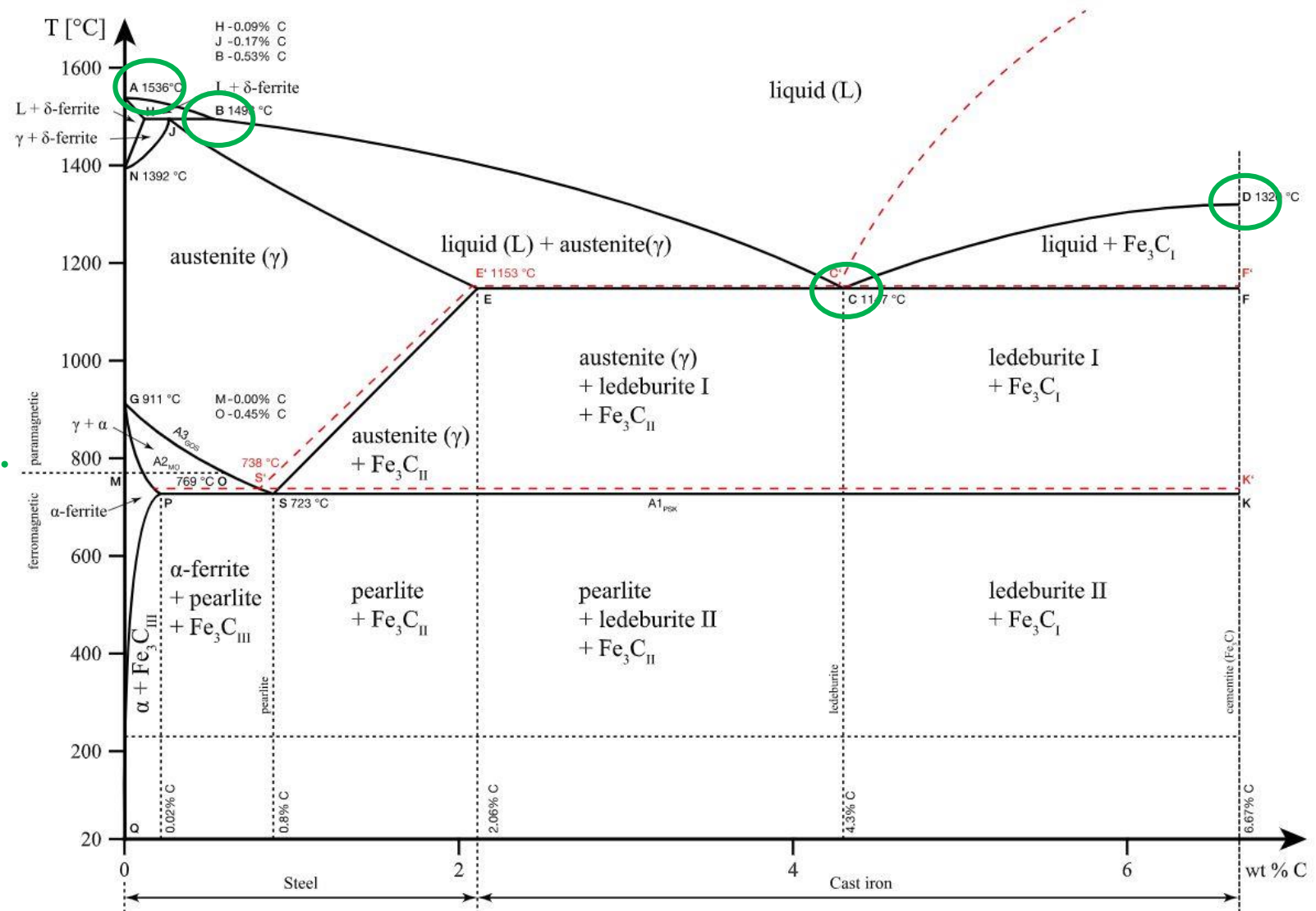
# Pagrindinė Fe-Fe<sub>3</sub>C diagramos taškų ir linijų reikšmės



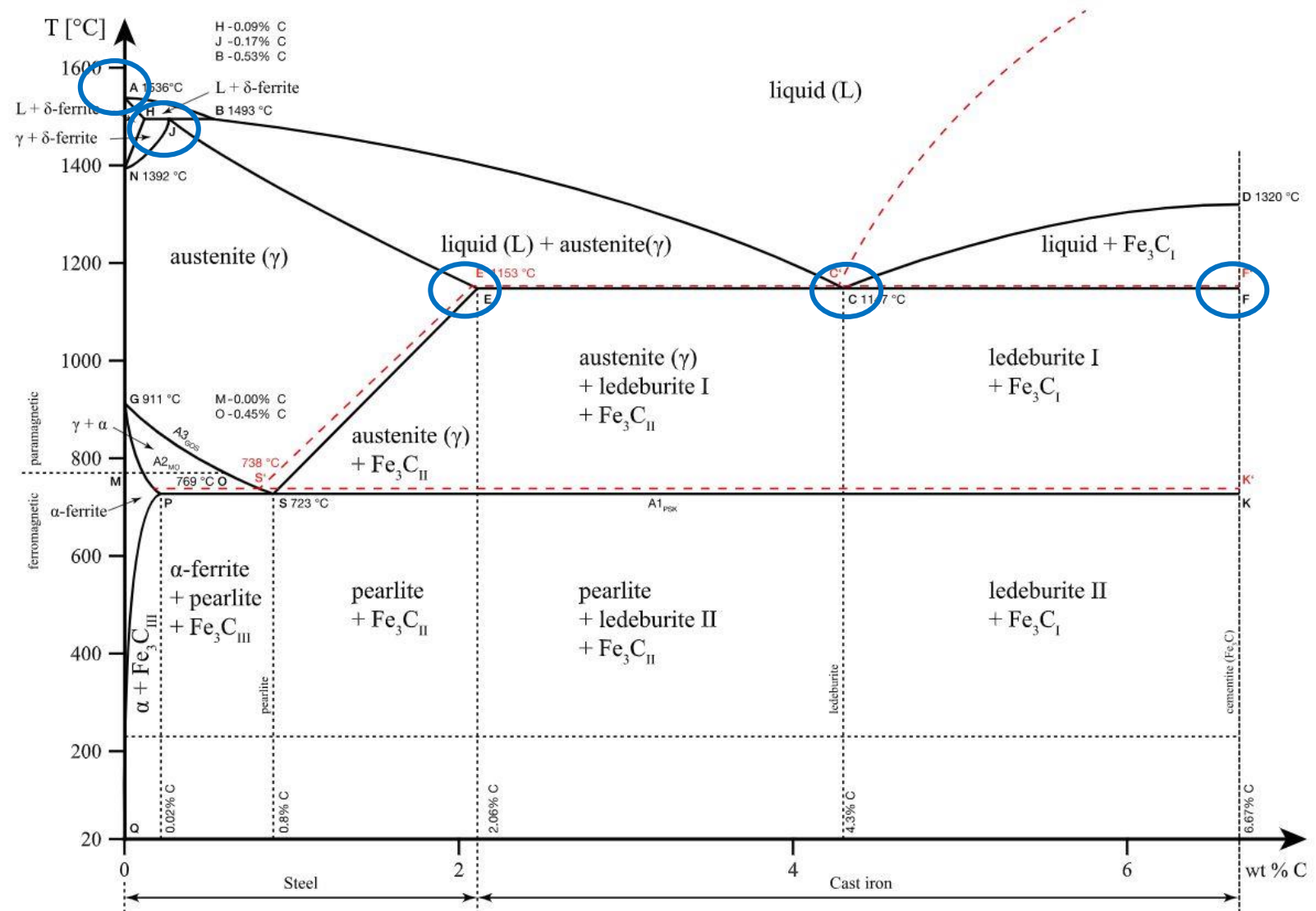
- Taškas A atitinka geležies lydymosi temperatūrą 1539 °C.
- Taškai G (910°C) ir N (1392°C) – geležies alotropinių virsmų  $\text{Fe}_\alpha \rightleftharpoons \text{Fe}_\gamma$  ir  $\text{Fe}_\gamma \rightleftharpoons \text{Fe}_\delta$  temperatūras.
- Taškas D (1500°C) – cementito lydymosi temperatūra.



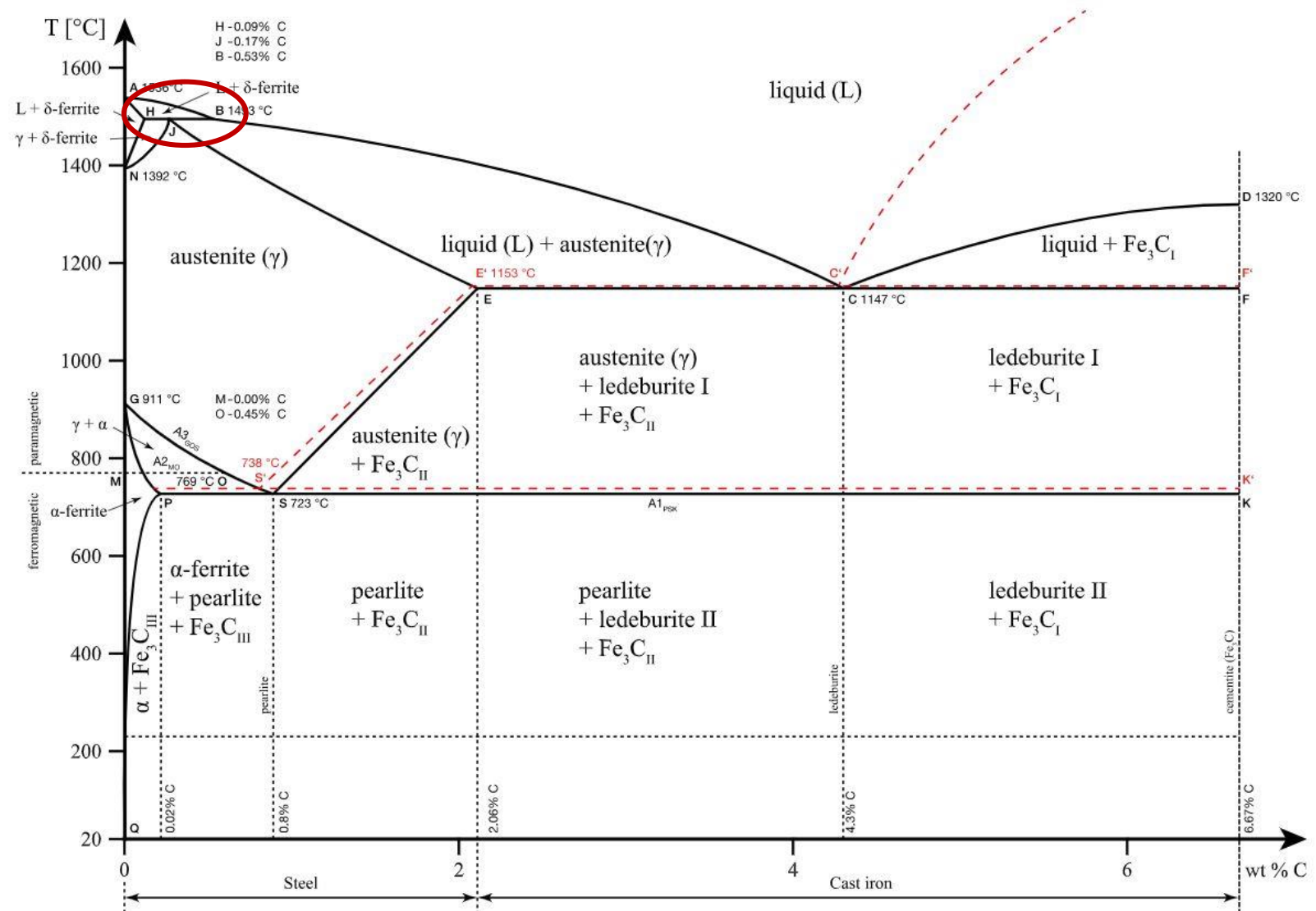
- Linija ABCD – likviduso linija, kuri parodo auštančių lydinų kristalizacijos pradžios temperatūras.



- Linija AHJECF – soliduso linija, kuri parodo lydinių kristalizacijos pabaigos temperatūras.

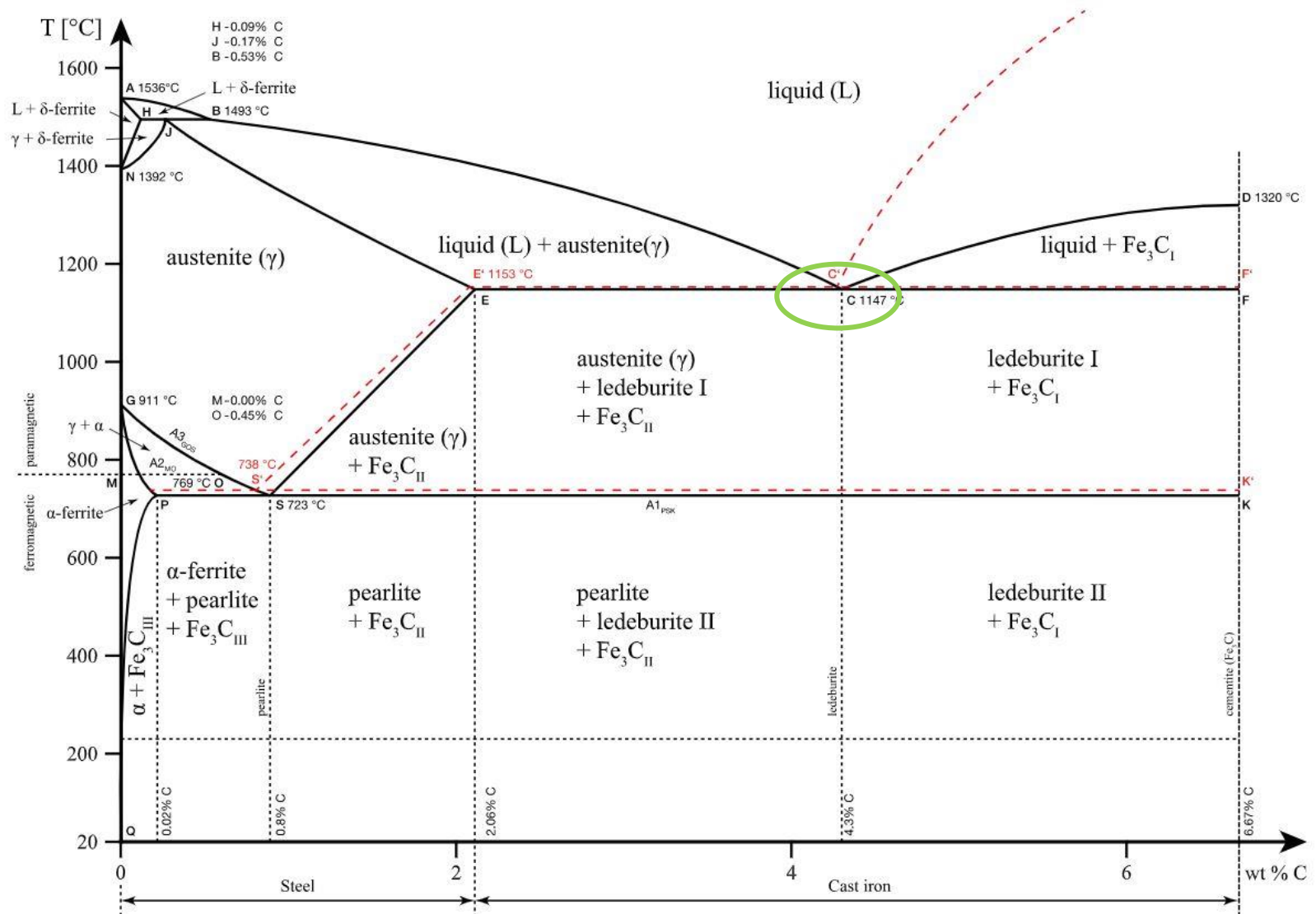


- Taškas J (0,16 % C) – peritektinės koncentracijos taškas.
- Horizontalė HJB (1499°C) – peritektinės reakcijos horizontalė.

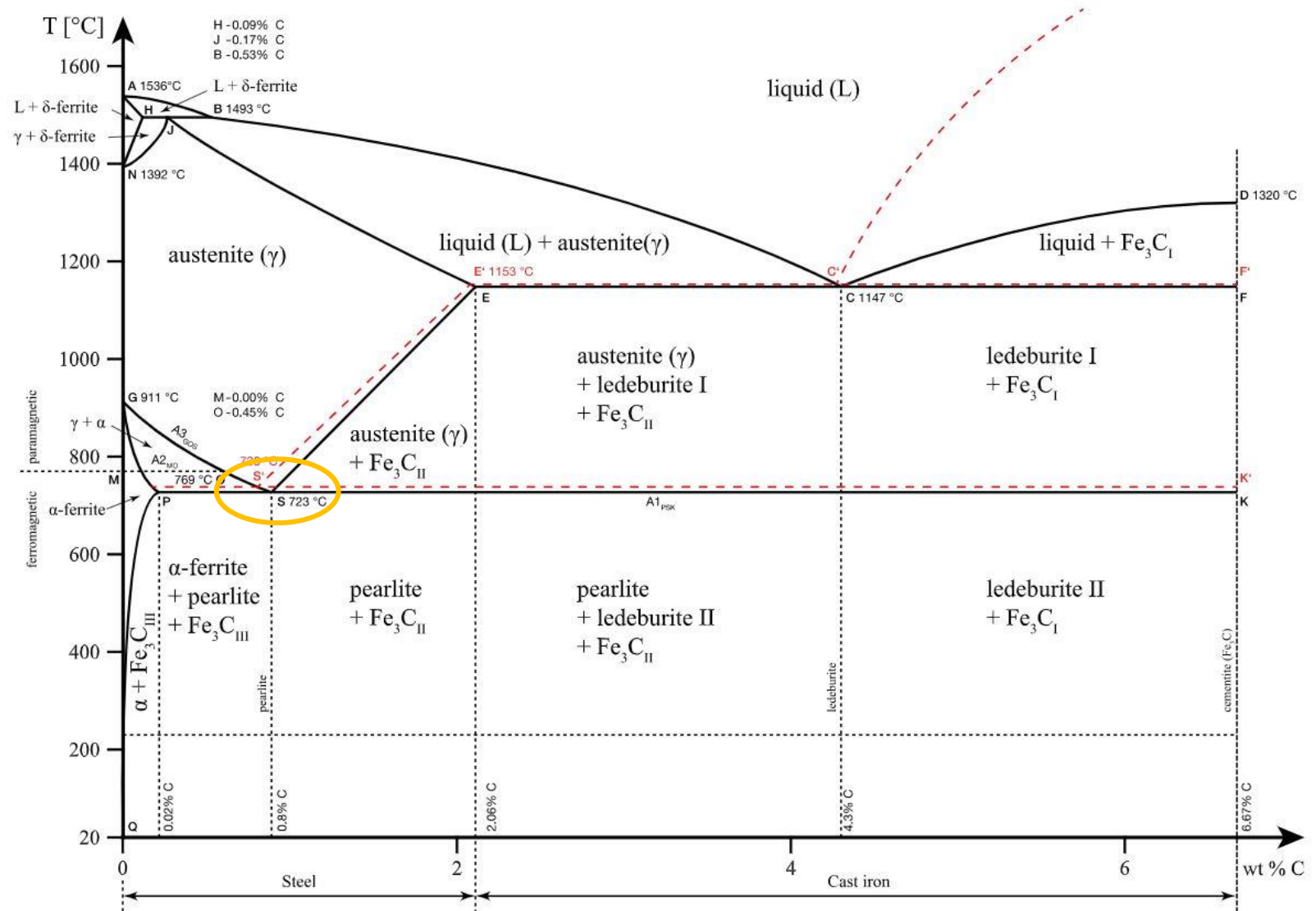




- Taškas C (4,3 % C) – eutektinēs koncentrācijas taškas.
- Horizontālē ECF (1147°C) – eutektinēs reakcijas horizontālē.

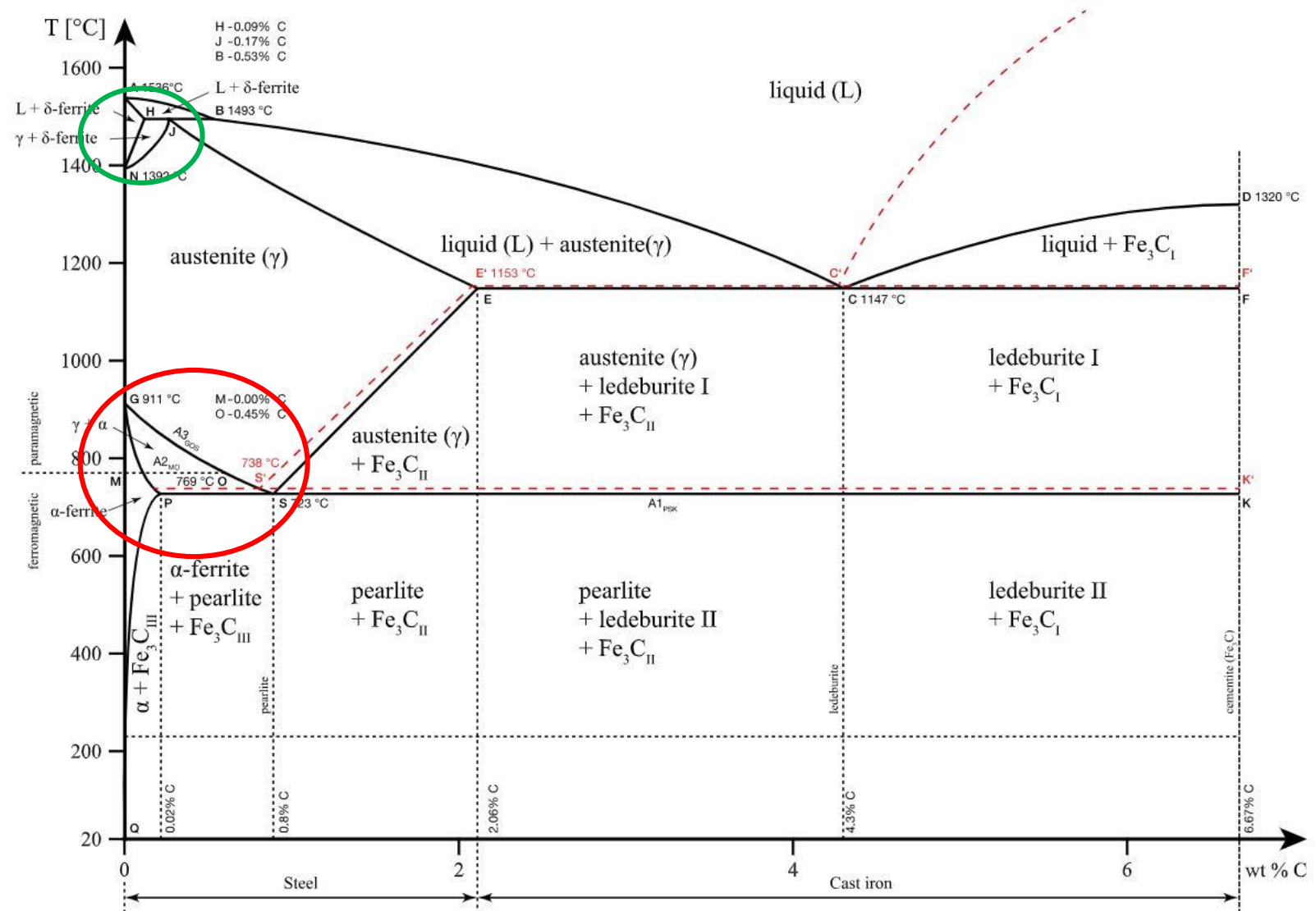


- Taškas S (0,8 % C) – eutektoidinēs koncentrācijas taškas.
- Horizontālē PSK (727 °C) – eutektoidinēs reakcijas horizontālē.

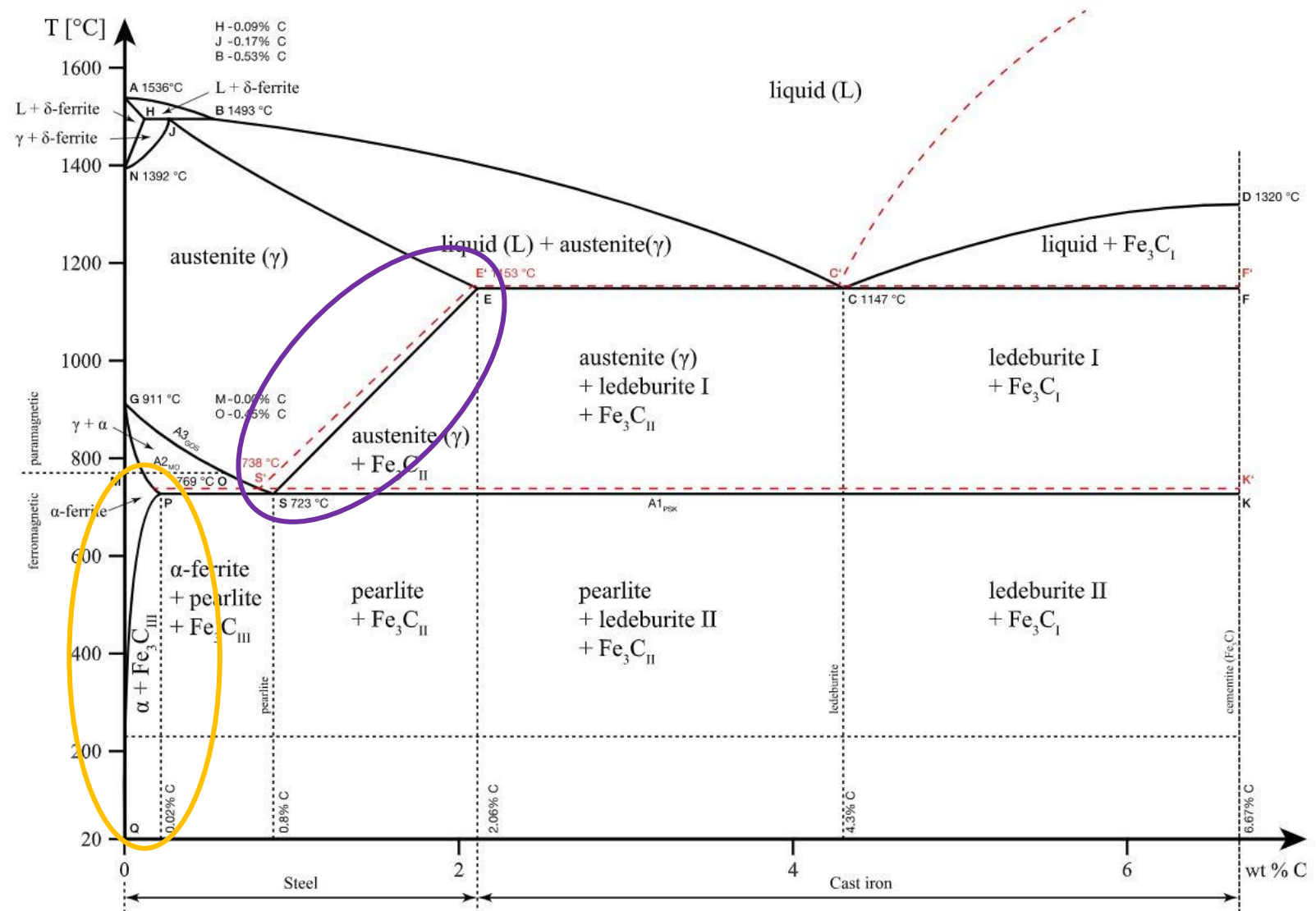




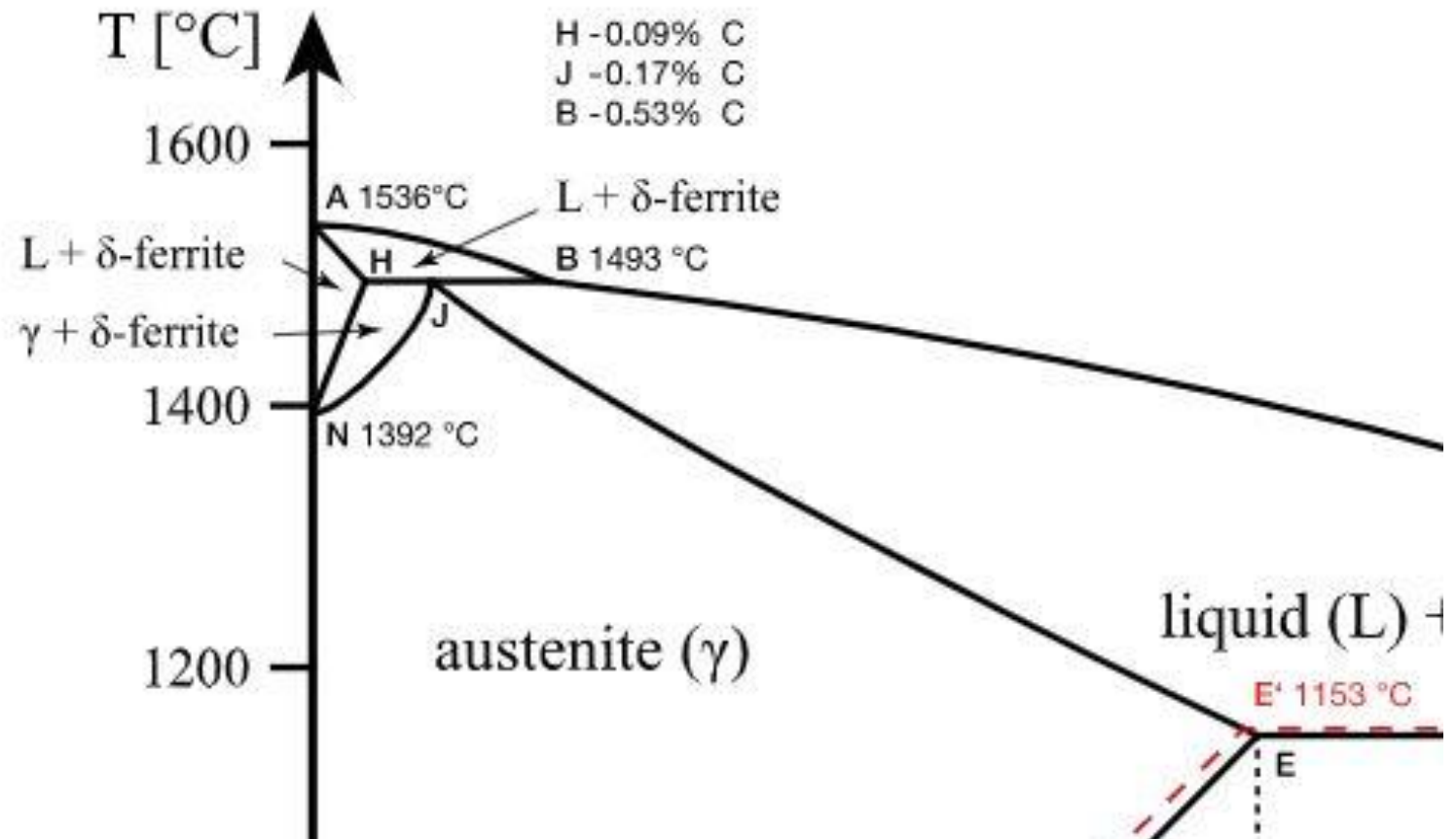
- Linijos NH ir NJ rodo ferito alotropinio virsmo į austenitą pradžios ir pabaigos temperatūras, auštant lydiniams, ir iš austenito į feritą juos kaitinant.
- Linijos GS ir GP apriboja austenito alotropinio virsmo į žematemperatūrinį feritą ir atvirkščiai temperatūrinę sritį.



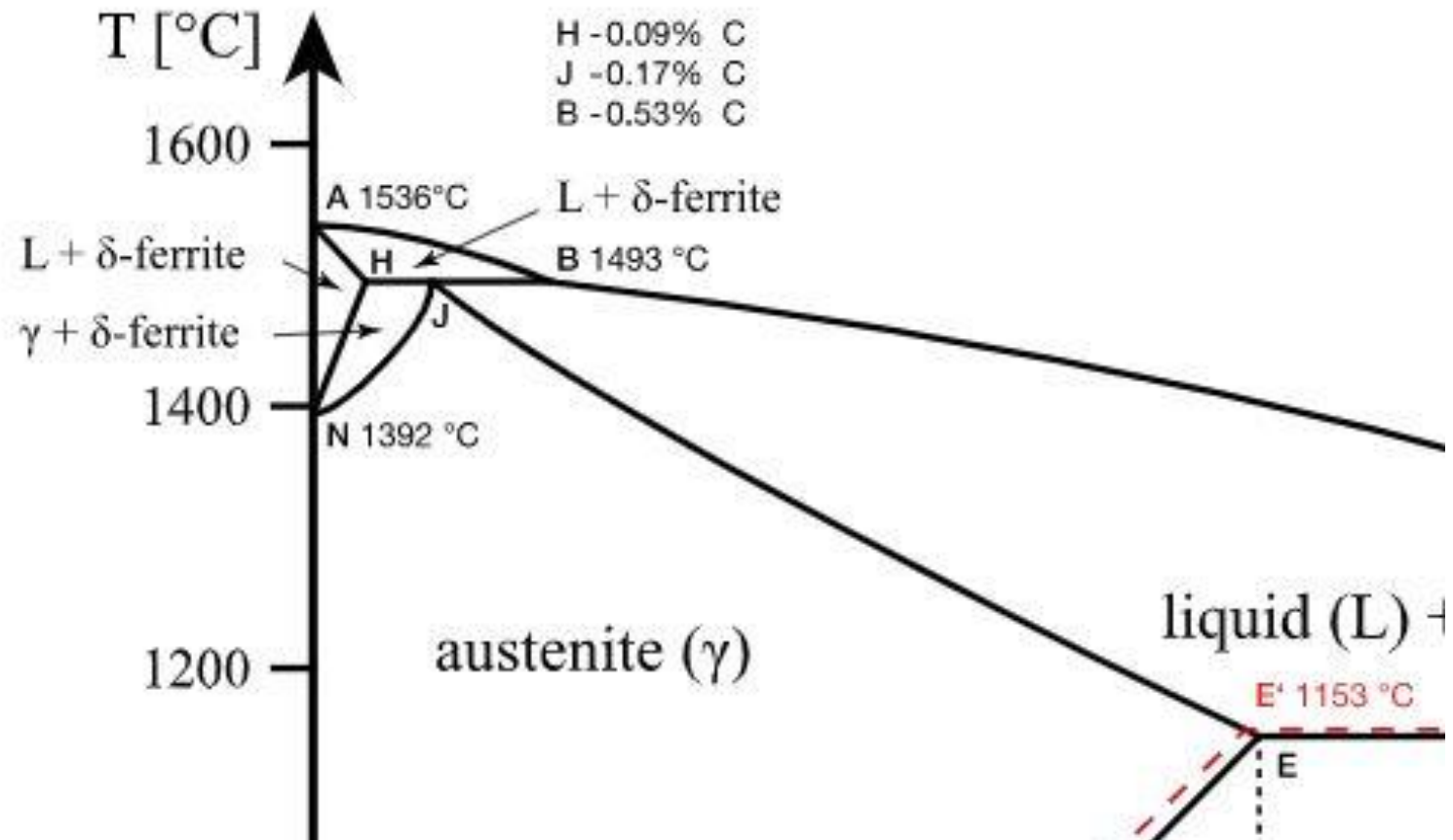
- Linijos SE ir PQ – solvuso linijos:
  - SE rodo ribinį anglies tirpumą austenite,
  - PQ – ferite.



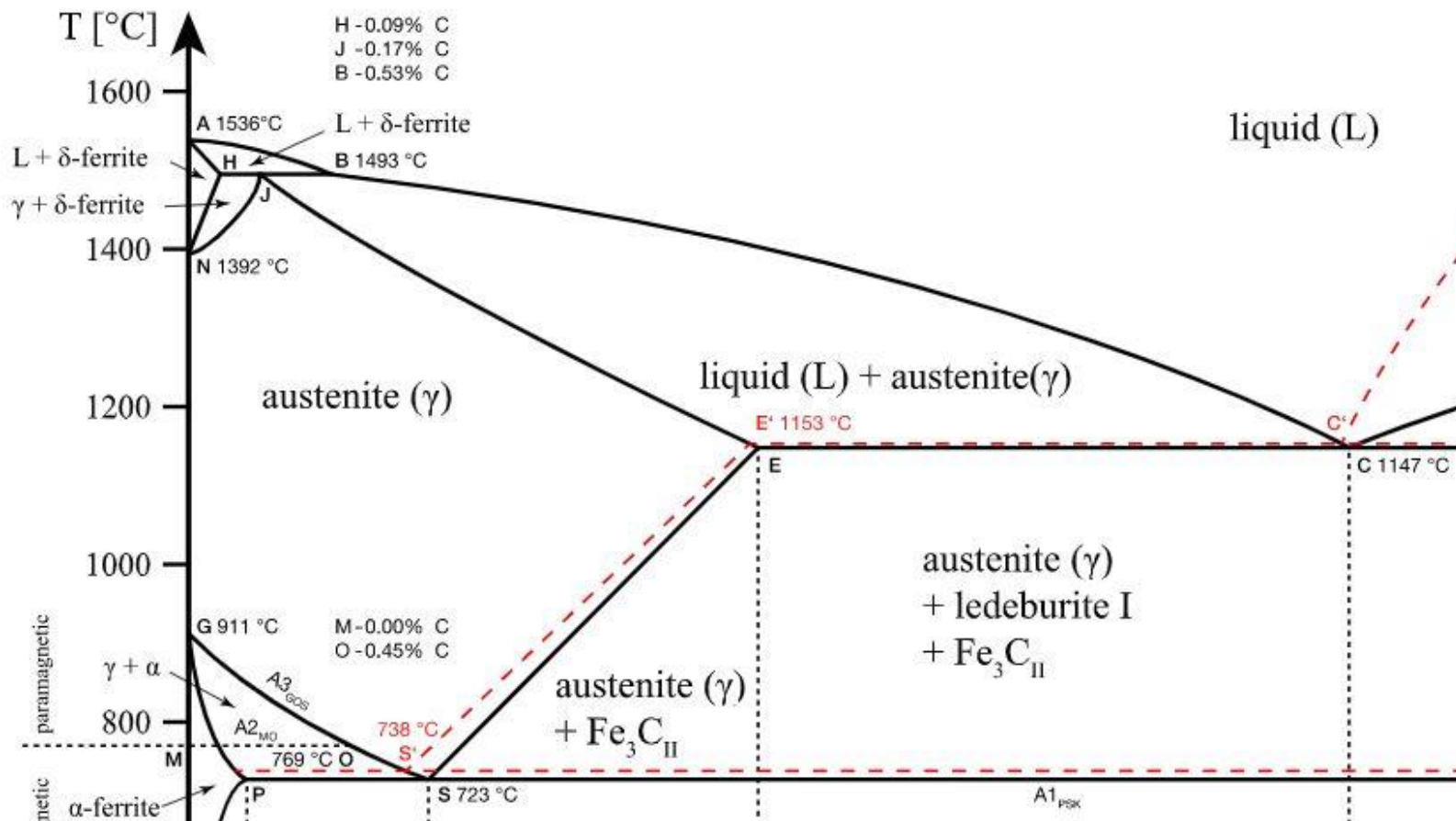
- Lydinių, turinčių iki 0,5 % C, kristalizacija prasideda ant likviduso linijos AB. Kristalizacijos metu iš skystos fazės išsiskiria ferito kristalai.



- Lydinių, turinčių iki 0,5 % C, kristalizacija prasideda ant likviduso linijos AB. Kristalizacijos metu iš skystos fazės išsiskiria ferito kristalai.

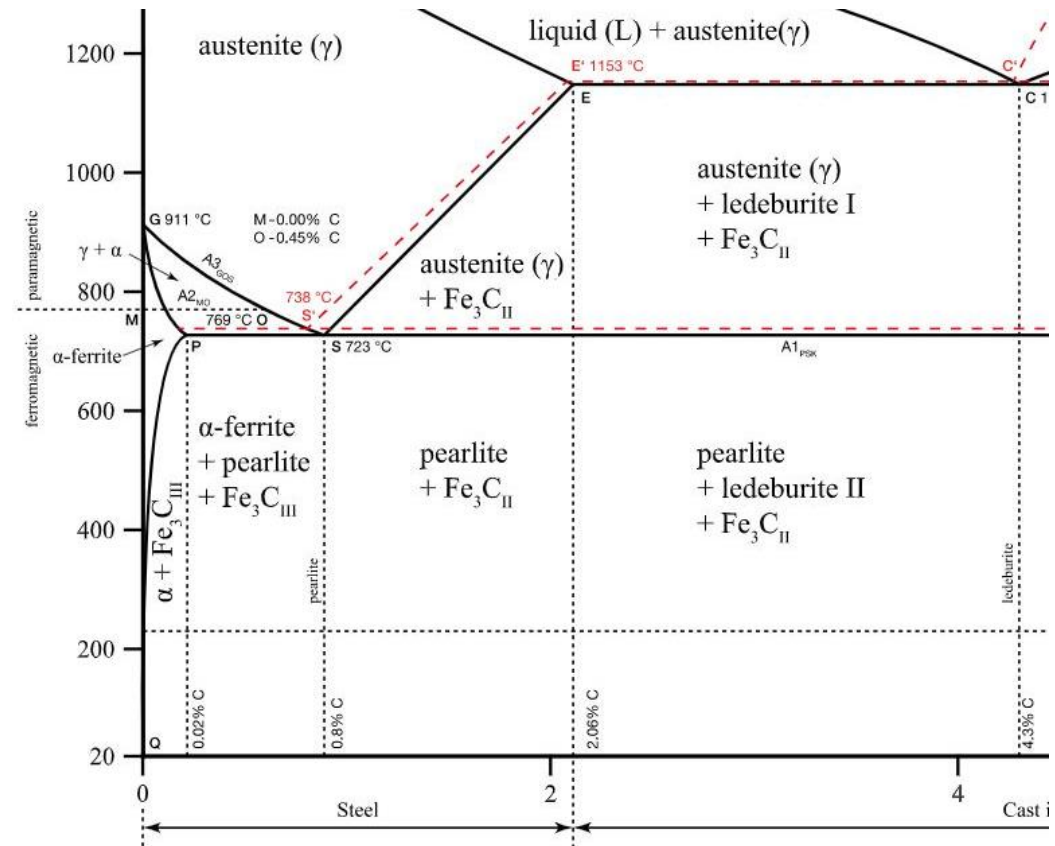


- Lydiniai, kurių anglies koncentracija yra tarp 0,5 ir 2,14 %, kristalizuojasi tarp linijų BC ir JE. Jų kristalizacijos eigoje iš skystos fazės išsiskiria austenito kristalai, todėl kristalizacijai pasibaigus, jų struktūra vienfazė. Ją sudaro austenito grūdėliai.

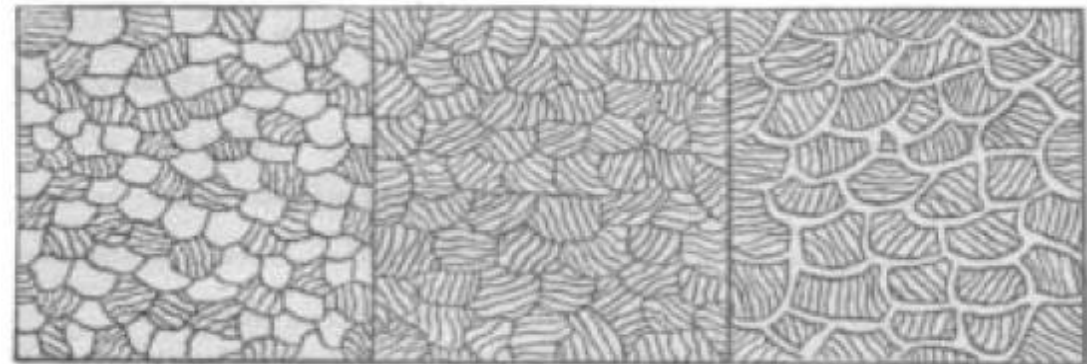




- Auštant lydiniam 727°C temperatūroje (horizontalė PSK), juose vyksta eutektoidinė reakcija. Eutektoidinės reakcijos eigoje iš austenito susidaro ferito ir cementito fazių mišinys vadinamas perlitu. Natūraliai ataušusiuose lydinuose perlito sandara yra plokštelinė.



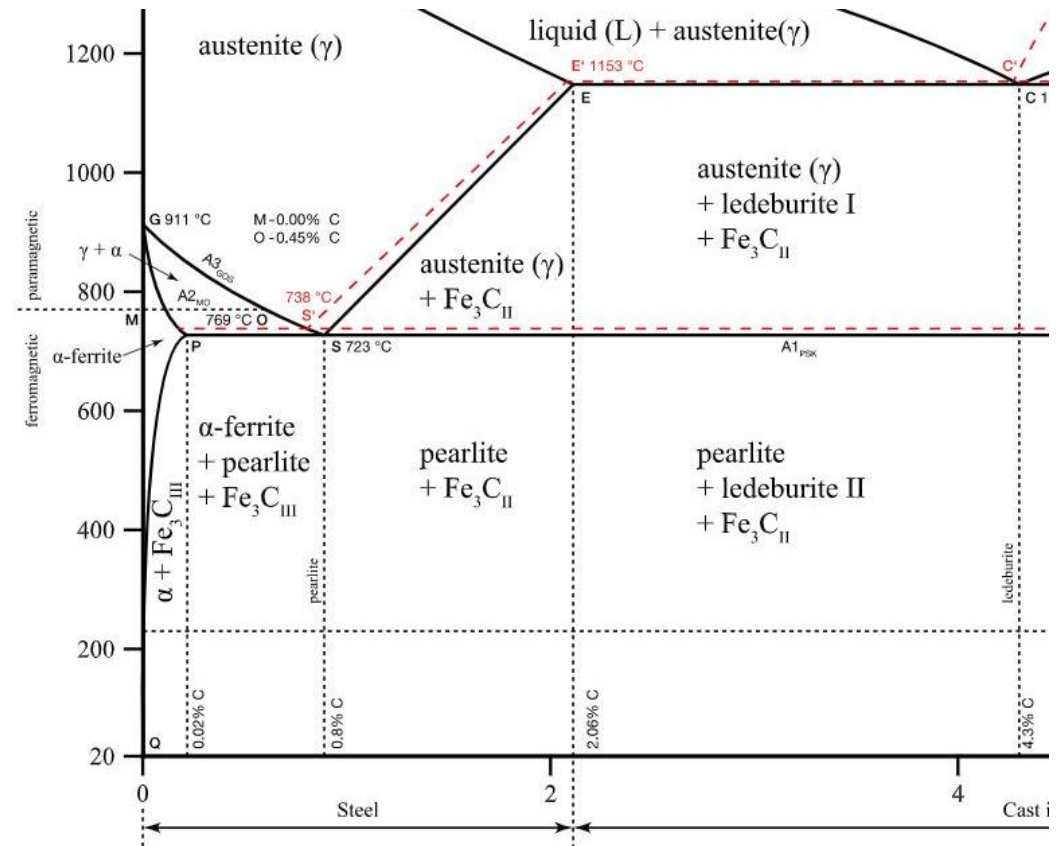
Eutektoidinis



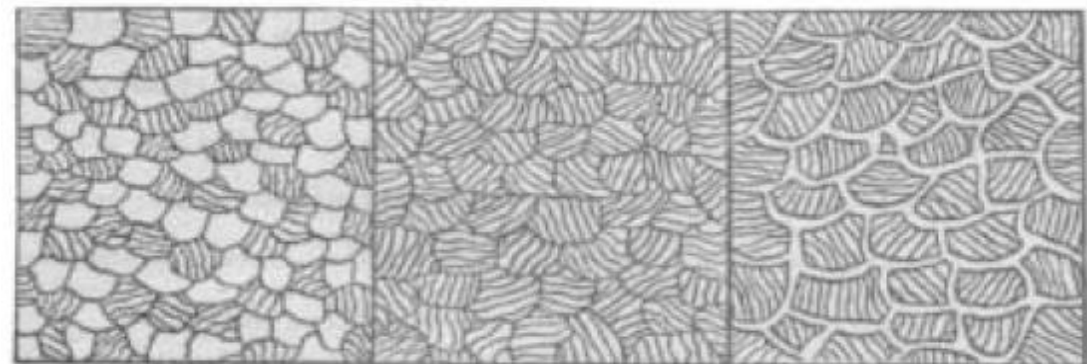
Priešeutektoidinis

Užeutektoidinis

- Plienai, kuriuose anglies koncentracija yra nuo 0,025 iki 0,8 % vadinami priešeutektoidiniais. Auštant šiems plienams, tarp linijų GS ir PSK austenitas alotropiškai virsta feritu.



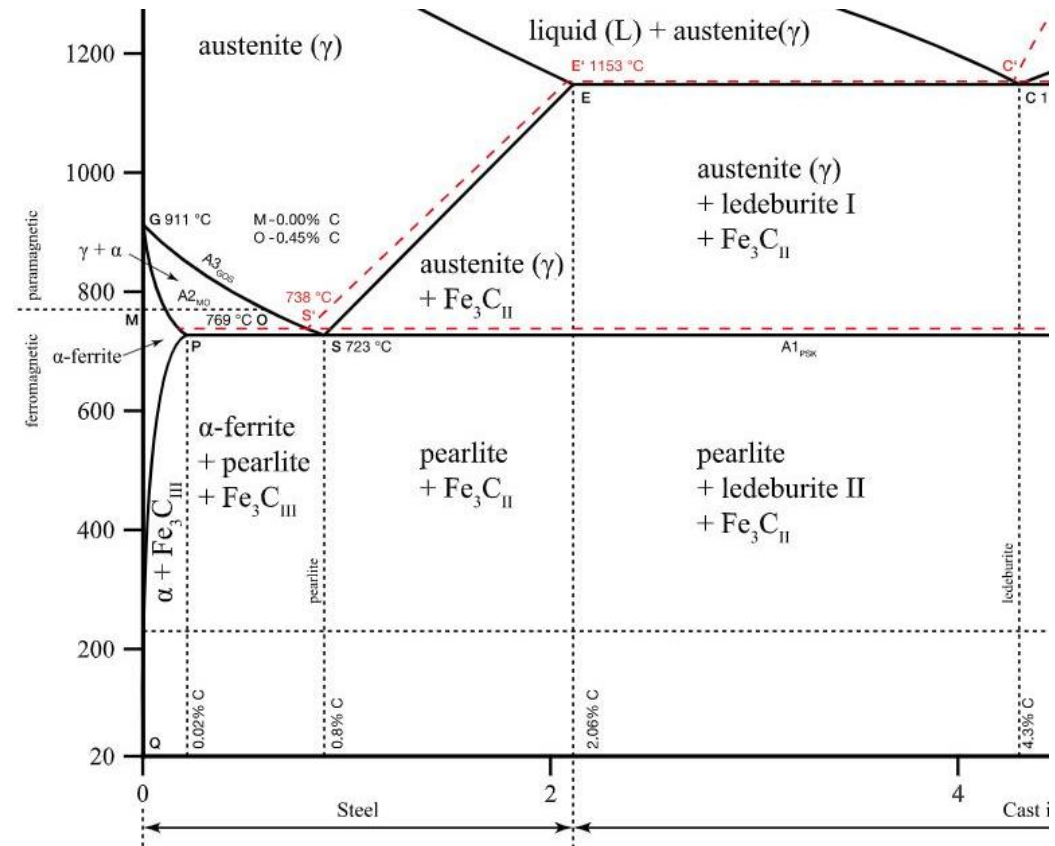
Eutektoidinis



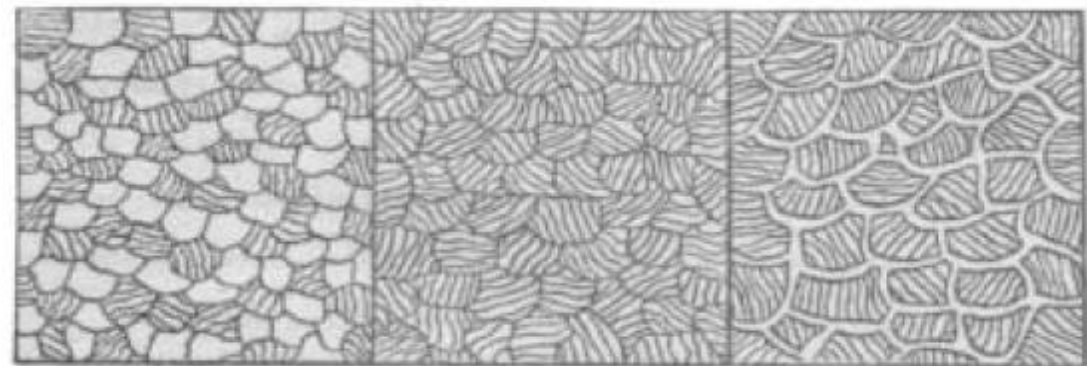
Priešeutektoidinis

Užeutektoidinis

- Lydiniai, kuriuose anglies koncentracija yra nuo 0,8 iki 2,14 % vadinami užeutektoidiniais plienais. Auštant šiems lydiniams, austenitas kritinėje temperatūroje linija SE tampa prisotintas anglimi.



Eutektoidinis

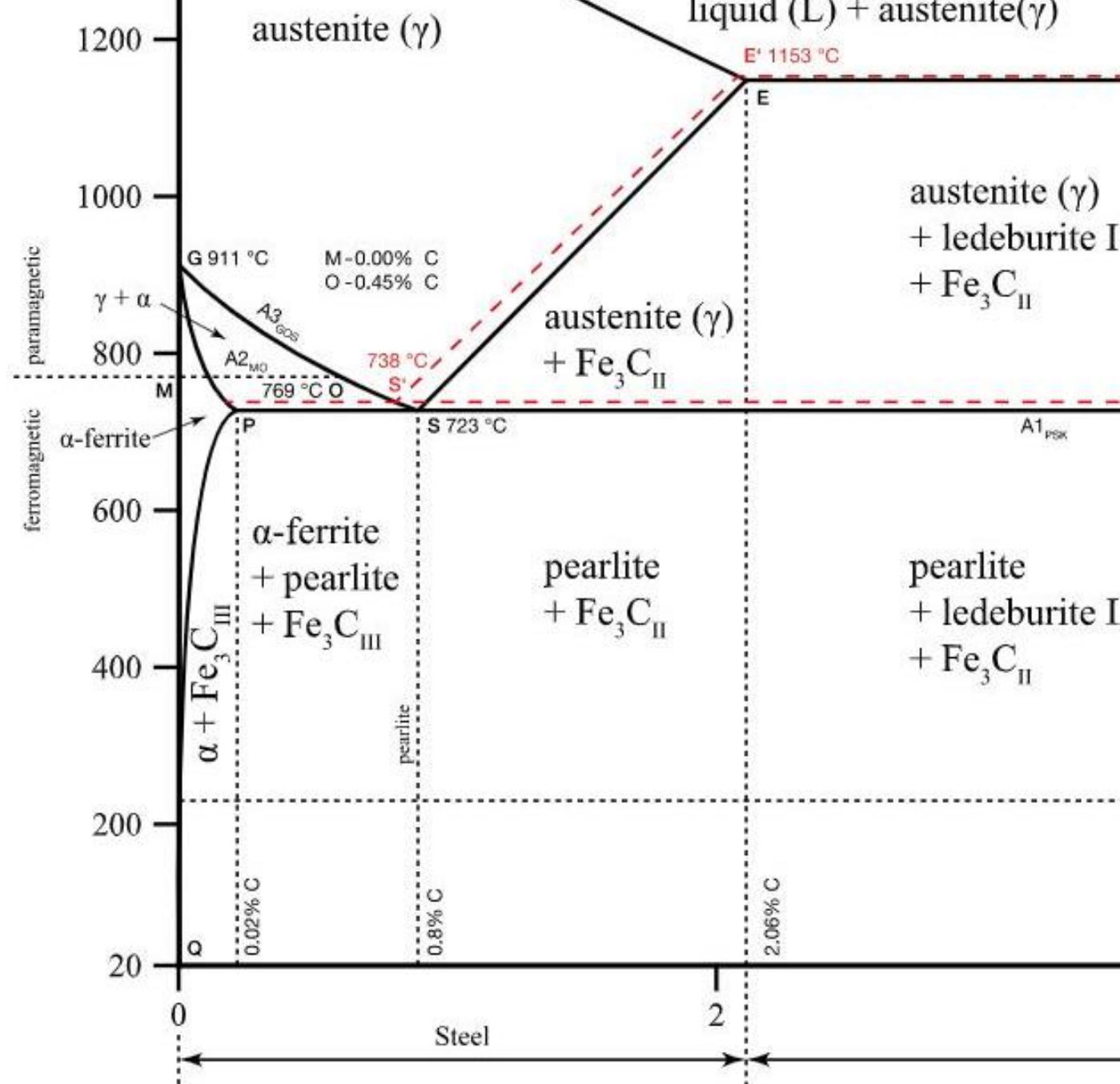


Priešeutektoidinis

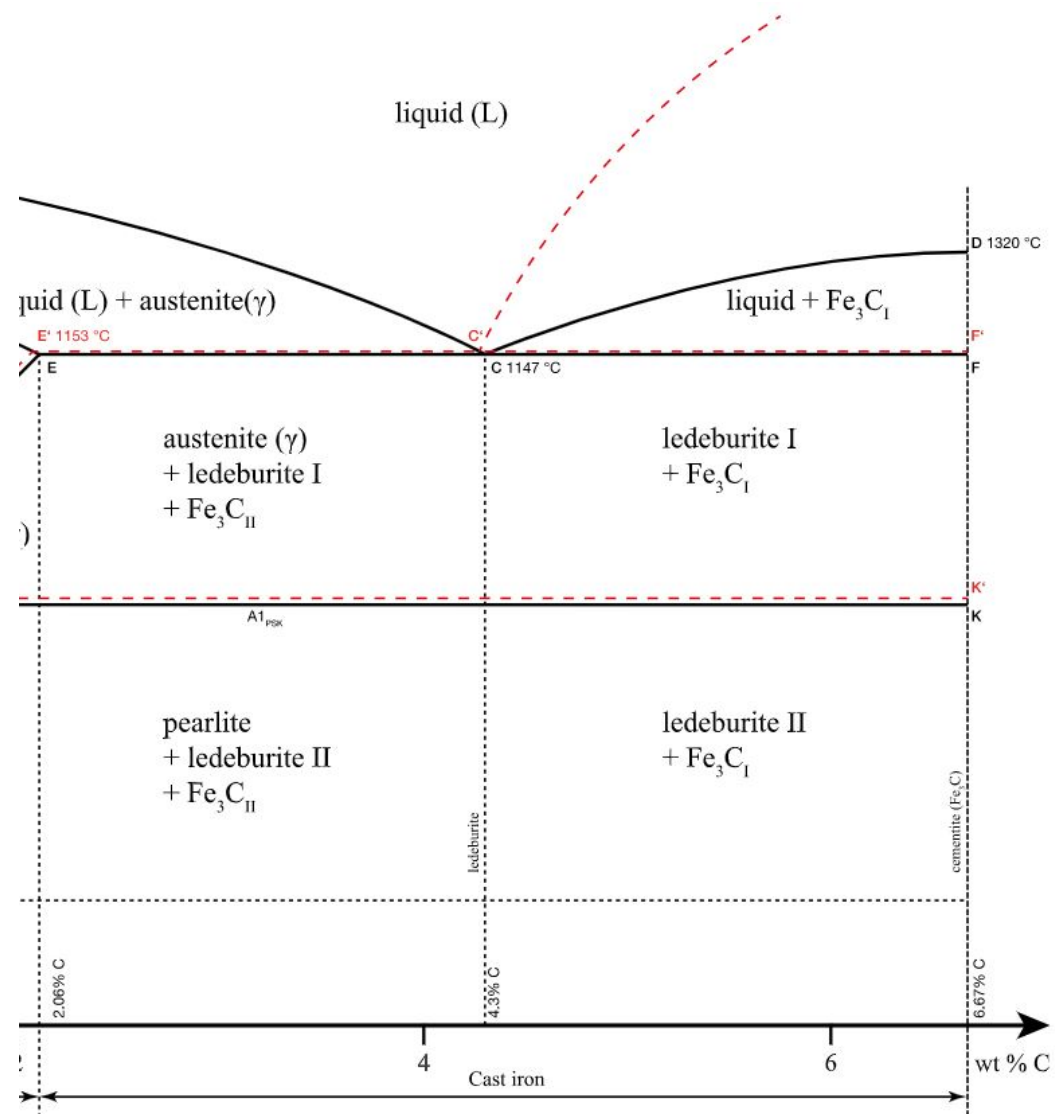
Užeutektoidinis



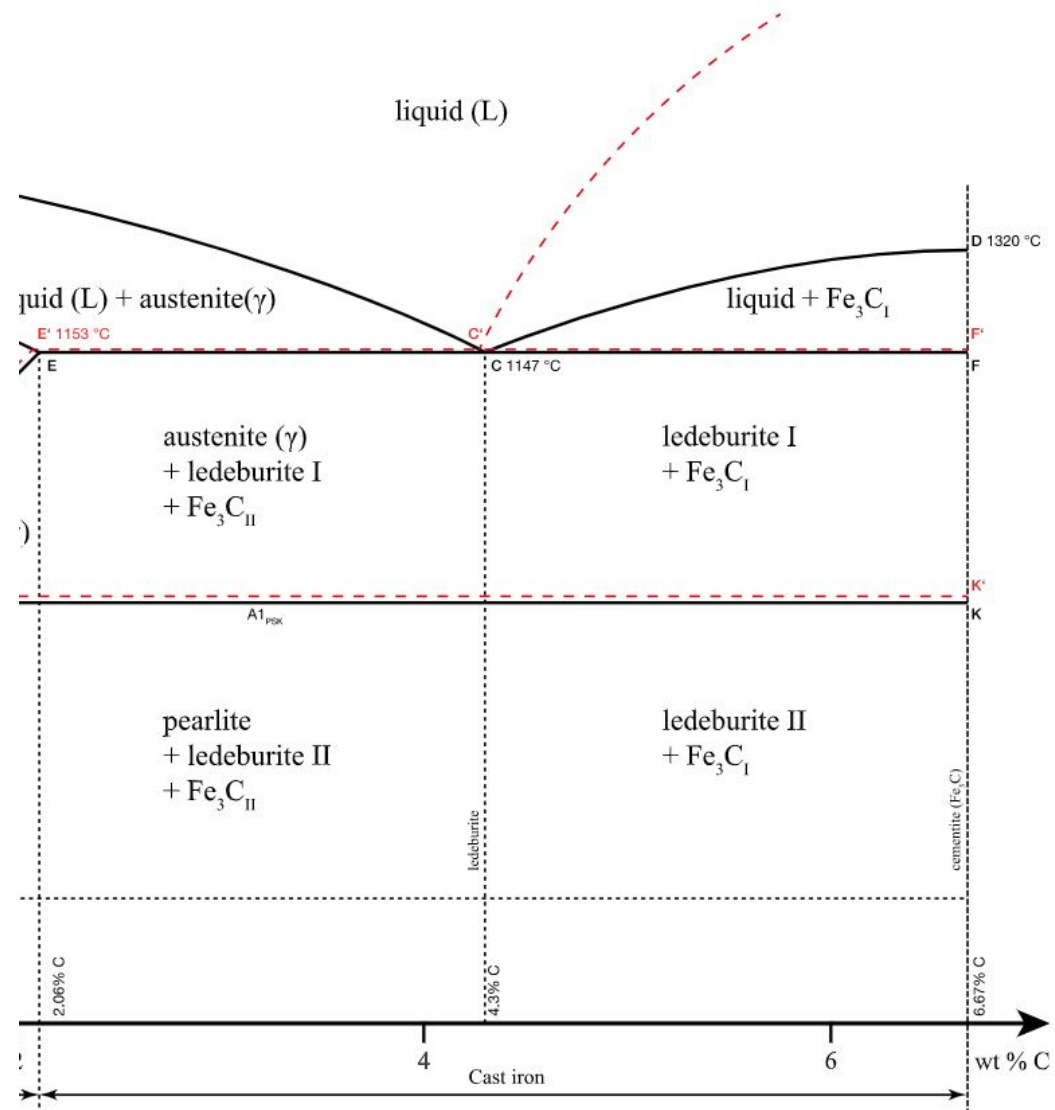
- Lydiniuose, kuriuose anglies yra mažiau negu 0,025 %, eutektoidinė reakcija nevyksta. Šie lydiniai vadinami technine geležimi.



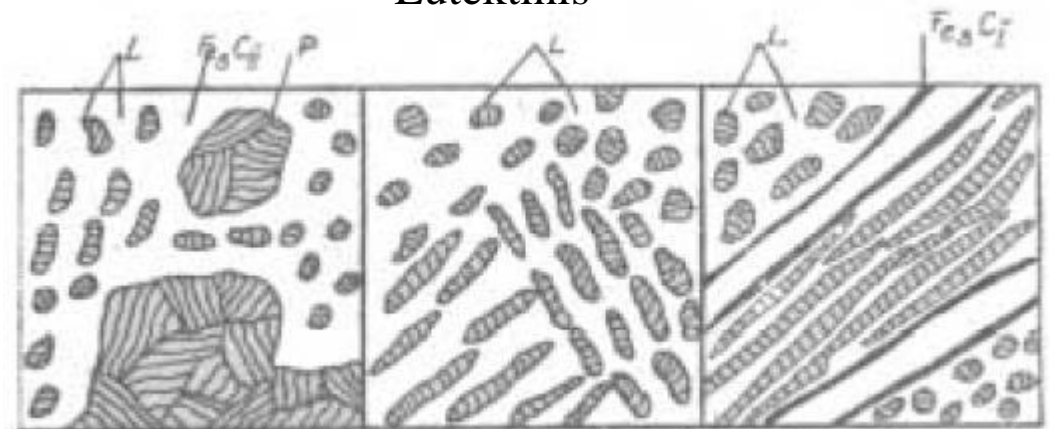
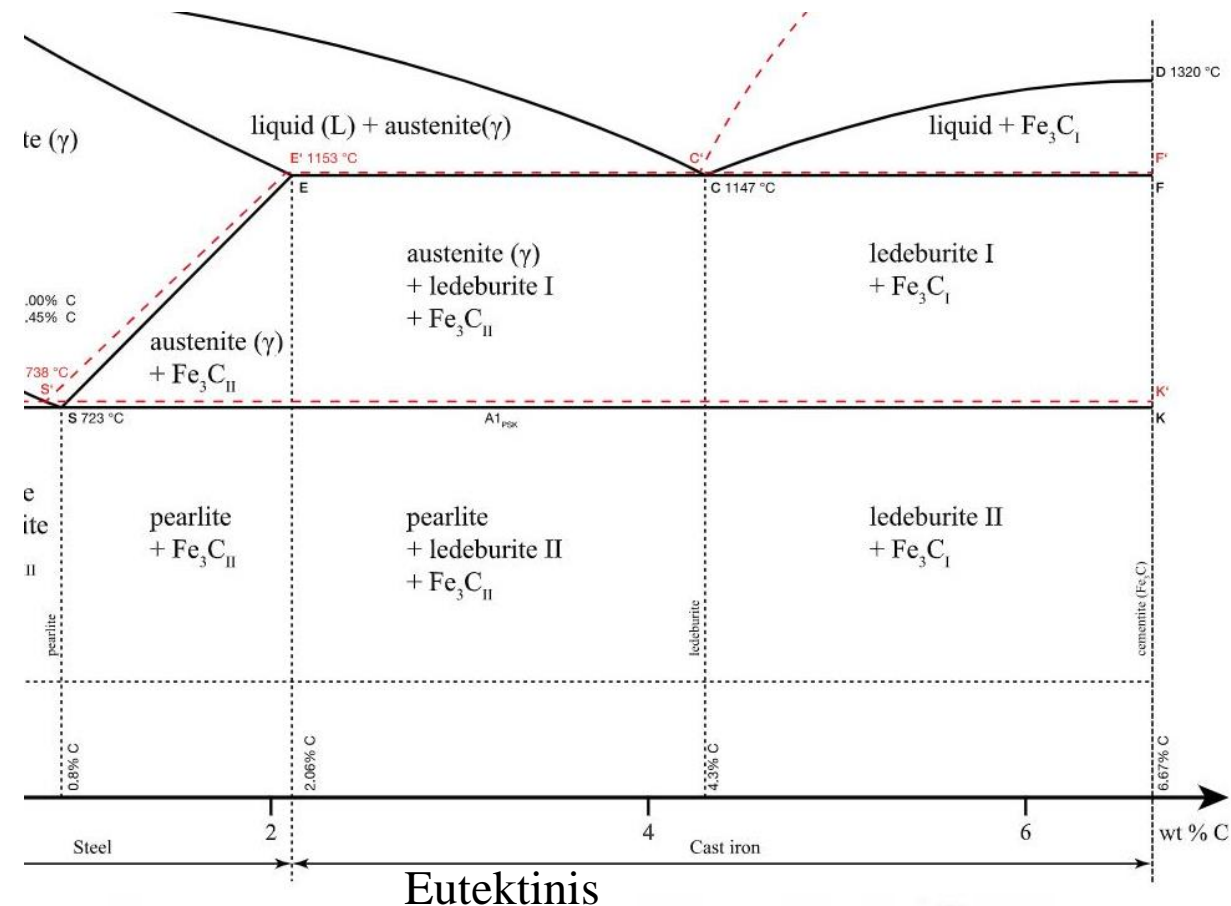
- Auštant lydiniam, esantiems šioje diagramos dalyje,  $1147^{\circ}\text{C}$  temperatūroje (horizontale ECF), juose vyksta eutektinė reakcija. Šios reakcijos metu susidaręs eutektinis austenito ir cementito fazių mišinys vadinamas ledeburitu.



- Eutektinė koncentracijos lydinio ( $C = 4,3\%$ ) visa kristalizacijos eiga tikrai eutektinė. Kristalizacijai pasibaigus, jo struktūrą sudaro vien ledeburitas, vadinamas eutektiniu ketumi.
- Priešeutektinio ketaus ( $2,14 < C < 4,3\%$ ) kristalizacija prasideda nuo likviduso linijos BC. Temperatūrai žemėjant nuo linijos BC iki eutektinės temperatūros, iš skystos fazės išsiskiria austenito kristalai.  $1147^\circ\text{C}$  temperatūroje likusi skysta fazė įgyja eutektinę koncentraciją ir baigia kristalizuotis pastovioje temperatūroje, sudarydama ledeburitą. Kristalizacijai pasibaigus, priešeutektinio baltojo ketaus struktūrą sudaro austenito kristalai ir ledeburitas.



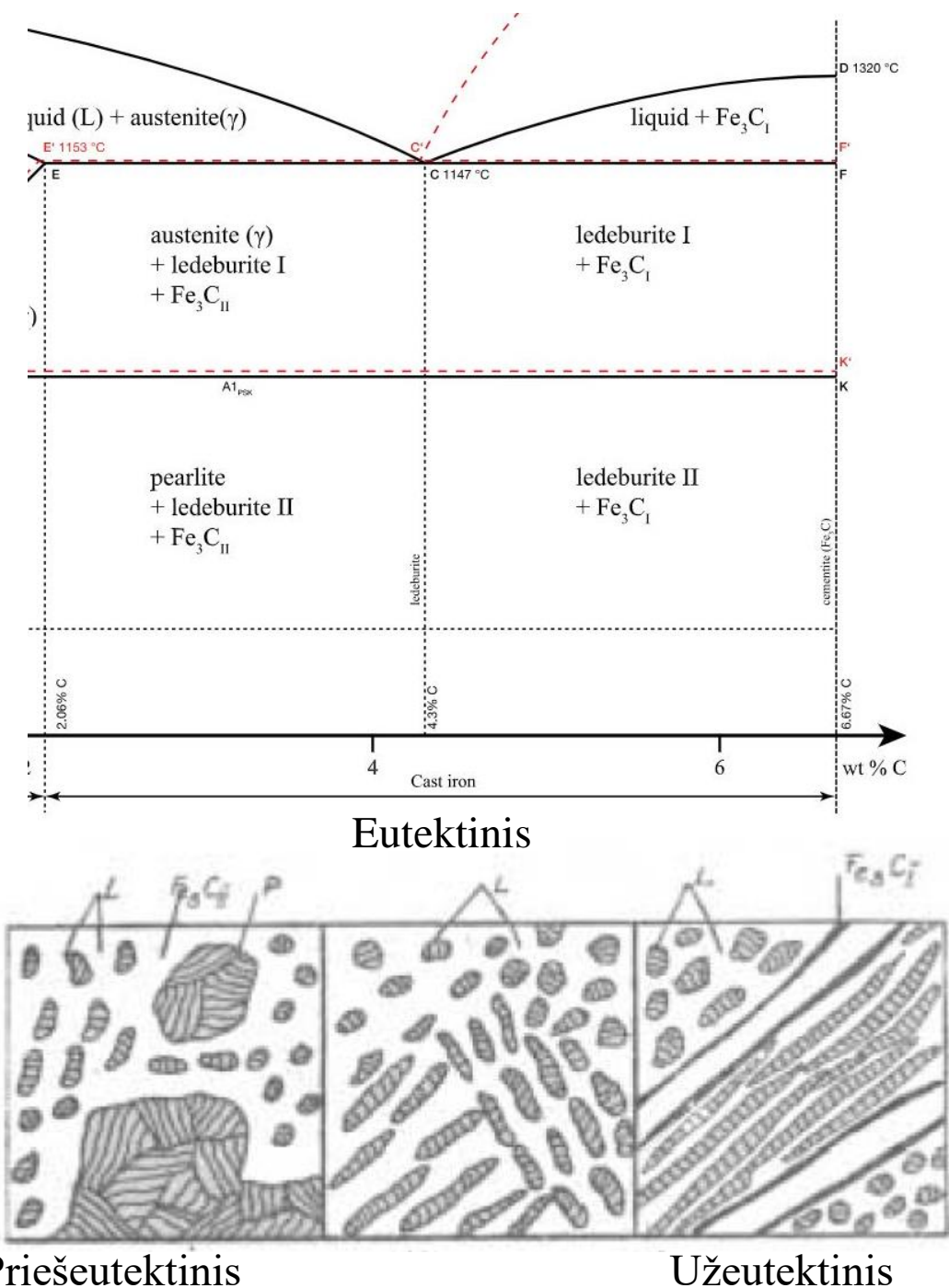
- Auštant lydinams nuo  $1147^{\circ}\text{C}$  iki  $727^{\circ}\text{C}$ , anglies tirpumas austenite kinta pagal solvusio liniją ES (mažėja nuo 2,14 iki 0,8 %). Dėl to šiame intervale anglies atomai išsiskiria iš austenito ir sudaro antrinį cementitą.  $727^{\circ}\text{C}$  temperatūroje vyksta eutektoidinė reakcija – austenito fazė virsta perlitu. Auštant žemiau  $727^{\circ}\text{C}$ , lydinų struktūra nebekinta. Kambario temperatūroje priešeutektinio baltojo ketaus struktūrą sudaro trys struktūrinės dedamosios: perlitas, antrinis cementitas ir ledeburitas



Priešeutektinis

Užeutektinis

- Užeutektoidinio baltojo ketaus ( $C > 4,3\%$ ) kristalizacija prasideda nuo likviduso linijos CD. Auštant lydiniams nuo likviduso iki eutektinės temperatūros, iš skystos fazės išsiskiria cementito kristalai. Iš skystos fazės išsiskiriantis cementitas vadinamas pirminiu cementitu ir žymimas  $Fe_3C_I$ .  $1147^\circ C$  temperatūroje likusi skysta fazė įgyja eutektinę koncentraciją ir baigia kristalizuotis pagal eutektinės reakcijos schemą, sudarydama ledeburitą. Toliau auštant lydiniams,  $727^\circ C$  temperatūroje pasikeičia ledeburito struktūra – austenito fazė virsta perlitu. Kambario temperatūroje užeutektoidinio baltojo ketaus struktūrą sudaro ledeburutas ir pirminis cementitas.





# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (1)

- Plienas, kurio sudėtyje yra tik geležis, anglis ir nuolatinės priemaišos, vadinamas angliniu plienu.
- Plienas, kurio sudėtyje, be nuolatinių priemaišų yra dar kitų specialiai įvestų elementų, vadinamas legiruotuoju plienu.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (2)

- **Anglis** – pagrindinis elementas, nulemiantis termiškai neapdoroto plieno struktūrą bei savybes. Lėtai ataušusio iš austenitinės būklės (atkaitinto) plieno struktūrą sudaro dvi fazės – feritas ir cementitas. Didėjant pliene anglies kiekiui, jo struktūroje didėja kietos ir trapios cementito fazės kiekis. Dėl to didėja plieno kietumas, stiprumas, mažėja plastiškumas bei smūginis tūsumas.
- Didėjant anglies kiekiui pliene, blogėja jo suvirinamumas, karštasis bei šaltasis apdorojimas spaudimu. Didėjant anglies kiekiui iki 0,5 % gerėja plieno apdorojimas pjovimu. Toliau didėjant anglies kiekiui, apdorojimas pjovimu blogėja dėl padidėjusio plieno kietumo.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (3)

- **Sieros** junginiai blogina plienų suvirinamumą bei korozinį atsparumą. Dėl to sieros kiekis pliene neturi viršyti 0,06 %.
- Vienintelė teigiama sieros įtaka plienui yra apdorojimo pjovimu gerinimas. Dėl to plienuose, skirtuose apdoroti didelio pjovimo greičio automatais (automatiniuose plienuose), sieros būna daugiau – 0,08–0,30 %.



# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (3)

- **Sieros** junginiai blogina plienų suvirinamumą bei korozinį atsparumą. Dėl to sieros kiekis pliene neturi viršyti 0,06 %.
- Vienintelė teigiama sieros įtaka plienui yra apdorojimo pjovimu gerinimas. Dėl to plienuose, skirtuose apdoroti didelio pjovimo greičio automatais (automatiniuose plienuose), sieros būna daugiau – 0,08–0,30 %.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (4)

- **Fosforas** ištirpsta ferite ir iškreipia jo kristalinę gardelę. Dėl to padidėja plieno stiprumo bei takumo ribos, tačiau sumažėja jo plastiškumas.
- Fosforas sumažina plieno smūginį tįsumą žemose temperatūrose.
- Ypač žalingas fosforo poveikis, kada jo plienuose yra daugiau negu 0,1 %.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (5)

- **Deguonis** ir **azotas** pliene sudaro oksidus bei nitridus. Tai trapūs nemetaliniai intarpai. Jie koncentruoja įtempimus, dėl to mažėja plieno plastiškumas, smūginis tūsumas, ciklinis patvarumas.
- **Vandenilis** pliene cheminių junginių nesudaro, tačiau legiruotame pliene jis gali sukelti labai pavojingus defektus – vidinius plyšius, vadinamus flokenais.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (6)

- **Siliciu** ir **manganu** lydymo metu plienas išoksidinamas. Dalis šių elementų (iki 0,5 - 0,8 % Mn ir iki 0,3 - 0,4 % Si) lieka pliene. Likę pliene Si ir Mn ištirpsta ferite. Dėl to padidėja ferito kietumas bei stiprumas, tačiau šiek tiek sumažėja jo plastiškumas.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (7)

- Legiruojančiais vadinami elementai, įvesti į plieną lydymo metu, siekiant pakeisti jos struktūrą ir savybes.
- Dažniausiai plienai legiruojami metaliniais elementais: Cr, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti, Co, Nb, Al, Cu.
- Metalinių legiruojančiųjų elementų atomai pakeičia dalį atomų geležies kristalinėje gardelėje.
- Ištirpę geležyje, legiruojantys elementai keičia geležies alotropinių virsmų temperatūras.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (8)

- Mažo ir vidutinio anglingumo konstrukcinių plienų pagrindine struktūrine faze (n mažiau kaip 90 %.) yra feritas. Dėl to šių plienų mechaninės savybės labai priklauso nuo ferito savybių. Dauguma legiruojančiųjų elementų, ypač Si, Mn ir Ni didina ferito fazės kietumą bei stiprumą.
- Ferito fazė yra termiškai apdorotų (grūdintų ir atleistų) plienų struktūros pagrindas. Dėl to legiruojančieji elementai, sustiprinantys feritą, sustiprina ir termiškai apdorotus plienus.

# Anglies ir priemaišų įtaka geležies lydinių savybėms (9)

- Didėjant anglies kiekiui, didėja karbidinės fazės įtaka plienų mechaninėms savybėms. Daugelis legiruojančiųjų elementų lėtina karbidų išsiskyrimą ir stambėjimą atleidimo metu, tuo sustiprindami plienus.
- Daugelis legiruojančiųjų elementų susmulkina plieno struktūros grūdelius. Dėl to didėja plieno smūginis tūsumas, žemėja kritinė trapumo temperatūra. Ypatingai kritinę trapumo temperatūrą žemina nikelis. Legiruojančys elementai gali iš esmės pakeisti plienų fizikines ir chemines savybes.