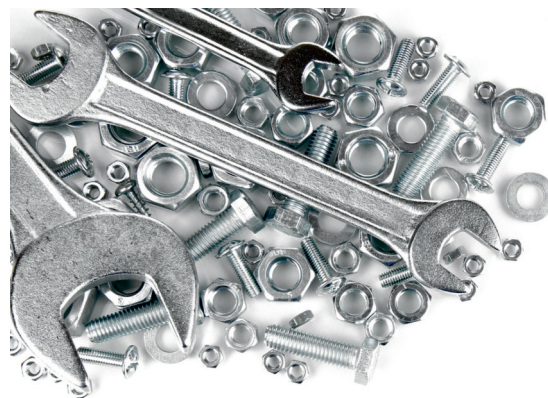


Nikkel

H																	He																	
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																	
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																	
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																
Fr	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs																										
																		28																
																		Ni																
																		Nikkel																
																		58,693																
																		La	Ce	Pr	Nd	Pm												
																		Ac	Th	Pa	U	Np												
																		Er	Tm	Yb	Lu													
																		Md	No	Lr														

Nikkel (Ni) er et sølvhvidt, hårdt metal med egenskaber der gør det anvendeligt i legeringer, hvor det forøger styrken, hårdheden og korrosionsbestandigheden over et stort temperaturinterval. Nikkel er derfor en væsentlig komponent i jern- og stålindustrien, hvor det bruges til fremstilling af rustfrit stål og andre legeringer, som bruges til fremstilling af fødevarerudstyr, mobiltelefoner, medicinsk udstyr og i transport- og bygningssektorerne. Nikkel er også afgørende for højteknologiske industrier, hvor det indgår i nye avancerede materialer med specielle egenskaber, de såkaldte superlegeringer, som anvendes i rumfartsindustrien og energisektoren. I naturen forekommer nikkelminerale i intrusioner, hvor det primært er bundet i sulfid-mineralet pentlandit samt i tropernes forvitrede lateritjorde i nikkelholdige mineraler som garnierit. Nikkel blev opdaget og navngivet af den svenske kemiker Axel Fredrik Cronstedt i 1751, men blev allerede benyttet i bronzealderen i Persien (ca. 3500 f.Kr. i det nuværende Syrien) og senere i 1400-1700 i Kina, hvor skriftlige kilder omtaler brugen af "hvidt kobber". Nikkel har også været almindeligt brugt i mønter, fx i den amerikanske five-centmønt – 'nickel' – som indeholder 25% nikkel. Nikkel kan være giftigt og kan give allergiske reaktioner, bl.a. når det bruges i smykker.

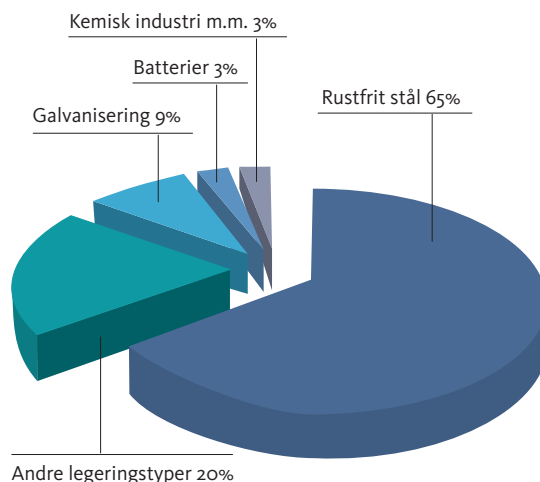
Nøgletal (2015)	
Priser:	60-100 kr./kg
Årlig produktion:	2,5 millioner ton
Opmålte reserver:	79 millioner ton (~40 års forbrug)
Estimerede ressourcer:	130 millioner ton (ikke kortlagt)
Genanvendelse:	40-45 %
Forsyningsrisiko:	Lav



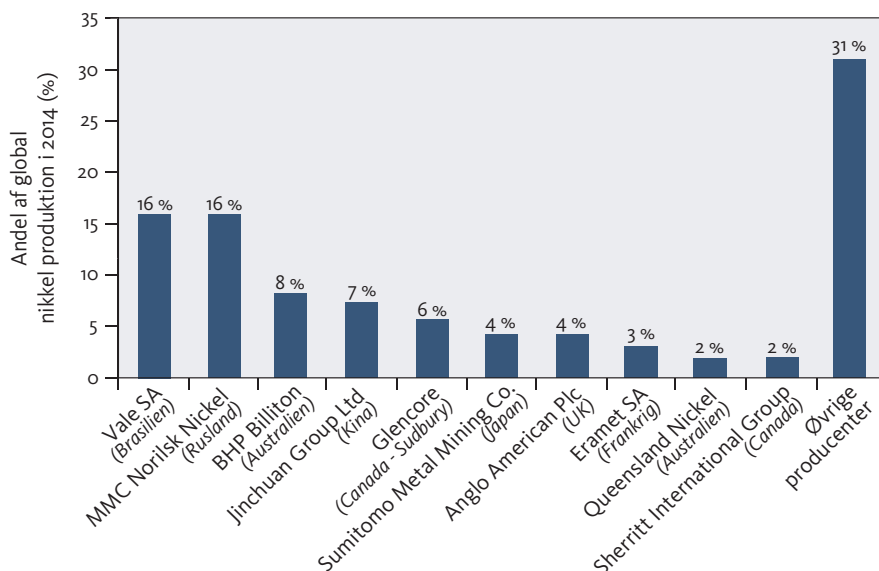
Nikkel bliver især anvendt til fremstilling af rustfrit stål. Foto: Shutterstock.

Anvendelse og forbrug

Nikkel indgår som råstof i en lang række af dagligdags forbrugsgoder til maskiner i fødevarerindustrien, i transportsektoren, til batterier, i bygninger og til mange andre formål. Nikkel bruges især, fordi det er hårdt, korrosionsbestandigt, har stor styrke ved både høje og lave temperaturer og har forskellige magnetiske og elektriske egenskaber. Disse egenskaber bruges til fremstilling af forskellige legeringer, ofte sammen med krom og jern. En af disse legeringer – den vigtigste – er rustfrit stål, ca. 65% af nikkelproduktionen går til fremstilling af rustfrit stål, mens 20% anvendes i andre speciallegeringer. De mest almindelige typer af rustfrit stål indeholder ca. 8-12% nikkel. Tilsætning af nikkel stabiliserer mikrostrukturen i stål og giver det den eftertragtede styrke og hårdhed, foruden en lille varmeekspansion og høj duktilitet (plasticitet), som gør det egnet til bearbejdning og giver gode svejseegenskaber. Nikkel bruges også til galvanisering af andre metaller, eksempelvis til fremstilling af bestik, til genopladelige nikkel-metal hydridbatterier og i den kemiske industri, fx til grønfarvning af glas.



Anvendelsesområder for nikkel. Kilde: The Nickel Institute 2016.



Markedsandele for de største producenter af nikkel. Landet angiver, hvor moderselskabet er registreret, ikke nødvendigvis i hvilket land de opererer.

Nikkel er afgørende for udviklingen af en række specielle industrier, som fremstiller og bruger nikkel-baserede superlegeringer, der i stigende grad bruges inden for rumfarts- og energisektoren. Der forskes endvidere i at udvikle nye materialer baseret på nikkel mikro-gitterstrukturer med 99,99% luft (lettere end styrofoam eller 'flamingo'), til anvendelse som termisk isolation, batterielektroder og stødabsorption.

Geologi og ressourcer

Nikkel udvindes hovedsagligt fra to forskellige typer af malmforekomster: (1) magmatiske sulfidmineraliseringer og (2) tropiske forvittringsjorde, også kaldet lateritter. Nikkelindholdet i de malme, der brydes, ligger typisk i intervallet 0,2-2 vægt-% nikkel, hvor lateritmalm dominerer i den lave ende af spektret og de magmatiske i den høje ende. I de magmatiske bjergarter er det vigtigste nikkelsulfidmineral pentlandit, $(Ni,Fe)_9S_8$, i laterit-malm er de vigtigste nikkelminerale garnierit $(Ni,Mg)_3Si_2O_5(OH)$ og nikkelholdig limonit

$(Fe,Ni)O(OH)$, der begge opkoncentreres i de overfladenære lag, som følge af tropiske forvittringsprocesser. Laterit-malm forekommer derfor hovedsageligt i lande inden for det ækvatoriale bælte, herunder Ny Kaledonien, Filippinerne, Indonesien, Columbia og Grækenland.

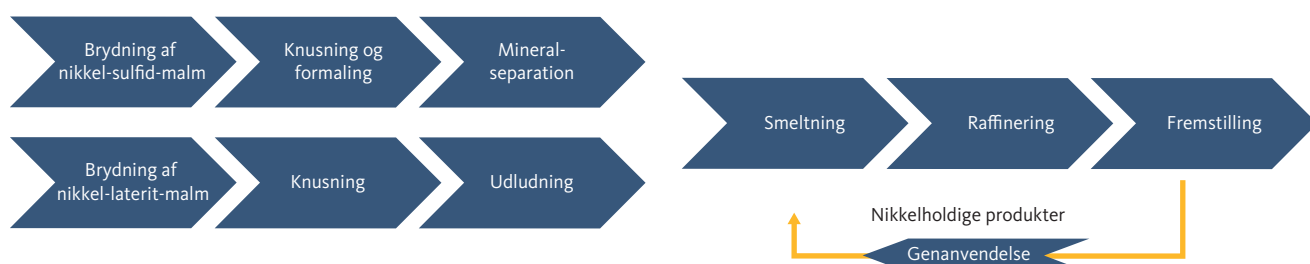
I gennemsnit indeholder Jorden 1,05 vægt-% nikkel, hvoraf størstedelen findes i den utilgængelige indre kerne i en legering med jern (med 5,2% nikkel); kappen og skorpen har derimod begge relativt lavt indhold af nikkel med hhv. 0,2% og 0,01%. Økonomisk rentable nikkelforekomster er typisk dannet ved, at nikkel er transporteret op fra kappen til jordskorpen, hvor det opkoncentreres. Den væsentligste mekanisme er en delvis opsmeltning af kappen, en proces som typisk finder sted ved magmatiske aktive tektoniske pladegrænser, og hvorunder nikkel overføres fra kappens almindelige værtsmineral olivin, $(Mg,Fe)_2SiO_4$, til en silikatsmelte. Herefter skal der hurtigt udskilles en selvstændig

sulfidsmelte fra silikatsmelten; nikkel fordeles i langt højere grad til sulfidsmelte end til silikatsmelte. Dannelse af en selvstændig sulfidsmelte kan typisk forårsages af en reduktion af et magmas oxidationsgrad og opløselighed af svovl, fx gennem skorpekontaminering med svovlholdige bjergarter, bl.a. sedimenter, der er rige på organisk materiale.

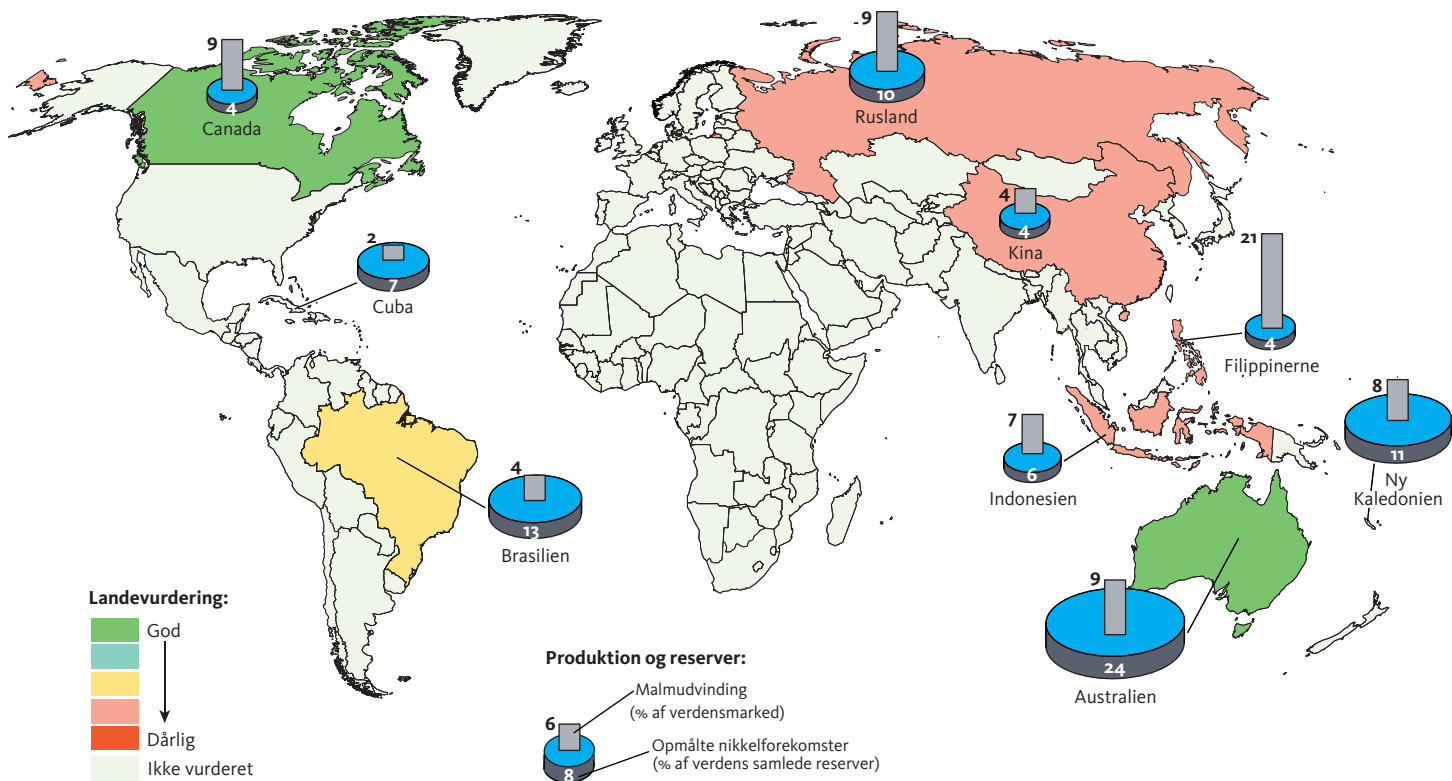
De påviste globale nikkelreserver udgør 79 mio. ton, hvoraf ca. en fjerdedel findes i Australien; derudover findes store reserver i Brasilien, Ny Kaledonien og Rusland. Disse reserver, som det med den eksisterende teknologi er rentabelt at udvinde, er tilstrækkelige til ca. 40 år med det nuværende produktionsniveau. Herudover er der nikkelressourcer på ca. 130 mio. ton med et indhold på 1% nikkel, samt en række mindre kendte ressourcer, bl.a. mangannoduler på havbunden. I tillæg hertil findes der nikkelressourcer, i områder som ikke er undersøgt for nikkel.

Større produktionssteder omfatter Sudbury-regionen i Canada (relateret til et meteornedslag), Norilsk i Rusland (flodbasalt-provins) og Ny Kaledonien i Stillehavet (lateritforvitring). Gennem de seneste årtier produceres der en stigende andel nikkel fra lateritforekomster, men der pågår også betydelig efterforskning efter sulfidtyperne i de arktiske områder, herunder Grønland.

I Grønland findes flere eksempler på nikkelforekomster relateret til magmatiske intrusioner. Den væsentligste nikkelforekomst findes nord for Maniitsoq i Vestgrønland inden for det såkaldte norit-bælte, som i de senere år er efterforsket af *North American Nickel Inc.* Nikkel-mineraliseringerne i området synes knyttet til en række mindre intrusive noritlegemes, som tilsammen danner et ca. 75 km langt og 10 km bredt bælte og har et højt indhold af nikkel (ca. 4%) og kobber



Forenklet produktionskæde for nikkel, der illustrerer de vigtigste produktionstrin fra udvinding til slutbrug. Fremstillingsmetoderne for nikkel er forskellige, afhængig af om udgangsmaterialet er en Ni-laterit-malm eller en Ni-sulfid-malm.



Lande med de største reserver og den største produktion af nikkel i verden (USGS, 2016). Størstedelen af produktionen af nikkel er fordelt mellem Filippinerne, Australien, Rusland, Canada, Ny Kaledonien, Indonesien, Brasilien, Kina og Cuba, som tilsammen står for 73% af den globale produktion og har 83% af de kendte reserver. Landevurderingen viser de lande, som efterforsknings- og mineselskaber vurderer som gode henholdsvis dårlige for minedrift; vurderingen er baseret på udvalgte faktorer (retssystemet, handelsbarrierer og politisk stabilitet) fra Fraser Institute (2014).

(ca. 0,6%). Dette bælte synes at være dannet i forbindelse med et gigantisk meteornedslag, som skete for 3 milliarder år siden (Garde *et al.* 2012); hvis dette er tilfældet, svarer det til hvad der kendes fra nikkeleforekomsten i Sudbury, Canada. Der blev i 2012 foretaget en vurdering af Grønlands nikkel-potentiale (Rosa *et al.* 2013), som blev vurderet som betydeligt; men sådanne opgørelser ikke er medregnet i den globale ressourceopgørelse.

Produktion

I takt med den økonomiske vækst i især Asien er der de seneste par årtier sket mere end en fordobling i verdens produktion af nikkel fra 0,9 mio. ton i 1994 til knap 2,5 mio. ton i 2015. I 2015 var produktionen domineret af Filippinerne (21%) efterfulgt af Rusland (9%), Canada (9%) og Australien (9%). De tre største producenter af nikkel var i 2014 det brasilianske selskab Vale SA (275.000 ton), det russiske selskab MMC Norilsk Nickel (274.000 ton) og det australske selskab BHP Billiton (143.000 ton), som samlet stod for 40% af den globale produktion. I 2014 og 2015 øgede Filippinerne deres produktion til over 0,5 mio. t, svarende til en femtedel af verdens produktion, hvilket har afstedkommet international kritik vedrørende miljøproblemer, som følge af den store minedrift, en kritik som kan få negative konsekvenser for den fremtidige produktion.

Genanvendelse og substitution

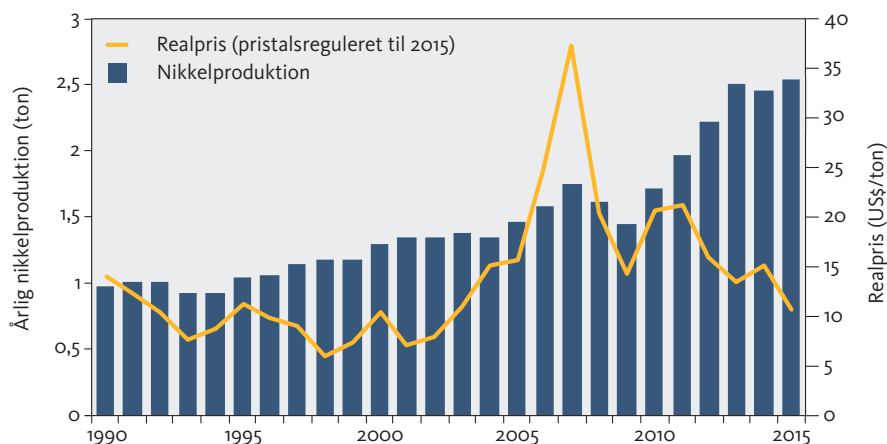
Nikkels efterspurgte egenskaber og høje pris er kraftige incitamenter for en høj genanvendelsesgrad. I 2015 udgjorde genindvundet materiale, herunder stål, højnikkel legeringer, slagter fra primære nikkelproducenter, batterier, m.m. 45% af det totale nikkelforbrug i USA, og på verdensplan anslås det, at mellem 25-50% nikkel bliver genanvendt.

Til fremstilling af høj-kvalitetsstål er der ikke mange muligheder for at erstatte nikkel. Nikkelfri specialstål anvendes i nogle sammenhænge i stedet for rustfrit stål i energisektoren og den petrokemiske industri. Titaniumlegeringer kan delvis substituere

for nikkelmetal eller nikkelbaserede legeringer i korrosive kemiske miljøer. I stålindustrien eksperimenteres der også med brug af plastlegeringer som substitution for nikkel, men endnu er materialeegenskaberne for ringe. Endvidere forskes der i at bruge keramiske materialer i stedet for nikkel til superlegeringer. Lithium-ionbatterier kan til nogle formål erstatte nikkel-metal hydridbatterier.

Marked og priser

Markedet for rent nikkelmetal (99,8% Ni) er mere end fordoblet over de seneste 25 år, fra omkring 1 mio. ton i 1990 til ca. 2,5 mio. ton i 2015, som særligt afspejler det stigende forbrug i Asien, herunder Kina.



Udvikling af produktion på nikkel i perioden 1990-2015 (prisreguleret).



Goro oparbejdningsanlæg i Ny Kaledonien. Nikkel udvindes fra laterit-malm. Kilde: Canadian Mining Review.

Prisen har i samme periode fluktueret markant som følge af internationale økonomiske udsving. Historisk set har nikkelprisen været påvirket positivt af en stigende efterspørgsel i især Asien, kombineret med flere tilfælde af strejker i minesektoren i Canada. Op igennem 1990'erne lå prisen nogenlunde stabilt omkring 10.000 US\$/ton, men fra starten af nulserne begyndte en stigning, der kulminerede ved en pristop i 2007, hvor prisen på nikkel kortvarigt nåede over 40.000 US\$/ton. Prisen blev fulgt af et stort fald i 2008. Efter 2009 var prisen fluktuerende med en generel faldende tendens siden 2011, hvilket afspejler den globale økonomiske afmatning med en faldende efterspørgsel på produktion af rustfrit stål til følge. Fra januar til september 2015 faldt prisen markant fra 14.800 til 9.900 US\$ per ton. Årsagen til dette fald tilskrives, at der er opbygget store lagre af nikkel-halvfabrikata.

Forsyningsrisiko

Forsyningsrisikoen for nikkel er lav, fordi verdensproduktionen er fordelt ud på flere lande, der bl.a. omfatter Canada og Australien, som traditionelt er stabilt producerende lande, og fordi genanvendelsesgraden er så høj. Skulle der imidlertid opstå en situation, hvor der er mangel på nikkel, kan det få store konsekvenser for stålindustrien og for den internationale økonomi.

Kilder og videre læsning

Diogo, R., Stensgaard, B.M. & Sørensen, L.L. 2013: Magmatic nickel potential in Greenland. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2013/57, pp. 134.

Fraser Institute Annual: Survey of Mining Companies 2014:
www.fraserinstitute.org/uploadedFiles/fraser-ca/Content/research-news/research/publications/mining-survey-2014.pdf

Garde, A.A., Pattison, J., Kokfelt, T.F., McDonald, I. & Secher, K. 2012: The norite belt in the Mesoarchean Maniitsoq structure, southern West Greenland: Conduit-type Ni-Cu mineralisation in impact-triggered, mantle-derived intrusions? Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 28, 45-48.

Nickel – U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries:
<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/nickel/mcs-2016-nicke.pdf>

North American Nickel Inc.:
<http://www.northamericannickel.com/projects/greenland/maniitsoq/>

The balance:
<https://www.thebalance.com/the-10-biggest-nickel-producers-2014-2339732>

The Nickel Institute:
<https://www.nickelinstitute.org/>



GEUS

Adresse
 Videncenter for Mineralske
 Råstoffer og Materialer

De Nationale Geologiske Undersøgelser
 for Danmark og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K, Danmark

E-post: info@mima.dk
 Internet: mima.geus.dk

Kontakt
 Per Kalvig, centerleder
 Telefon: 91 33 38 64
 E-post: pka@geus.dk

ISSN: 2246-7246

Mi
 Ma

VIDENCENTER
 FOR MINERALSKE
 RÅSTOFFER OG
 MATERIALER