

8.3.4 Standardní potenciály [12, 13]

Řada napětí kovů (kyselý roztok)				Řada napětí iontů (kyselý roztok)							
Ox	+	e ⁻	⇌ Red	E ⁰ (V)	Ox	+	e ⁻	⇌ Red	E ⁰ (V)		
Li ⁺	+	e ⁻	⇌	Li	-3,045	U ⁴⁺	+	e ⁻	⇌	U ³⁺	-0,607
K ⁺	+	e ⁻	⇌	K	-2,925	Yb ³⁺	+	e ⁻	⇌	Yb ²⁺	-0,578
Ca ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Ca	-2,866	In ³⁺	+	2e ⁻	⇌	In ⁺	-0,44
Na ⁺	+	e ⁻	⇌	Na	-2,714	Cr ³⁺	+	e ⁻	⇌	Cr ²⁺	-0,408
Mg ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Mg	-2,363	Ti ³⁺	+	e ⁻	⇌	Ti ²⁺	-0,369
Be ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Be	-1,847	Eu ³⁺	+	e ⁻	⇌	Eu ²⁺	-0,429
Al ³⁺	+	3e ⁻	⇌	Al	-1,662	V ³⁺	+	e ⁻	⇌	V ²⁺	-0,256
Mn ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Mn	-1,180	Sn ⁴⁺	+	2e ⁻	⇌	Sn ²⁺	+0,154
Zn ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Zn	-0,762 7	Cu ²⁺	+	e ⁻	⇌	Cu ⁺	+0,153
Cr ³⁺	+	3e ⁻	⇌	Cr	-0,744	Ru ³⁺	+	e ⁻	⇌	Ru ²⁺	+0,23
Ga ³⁺	+	3e ⁻	⇌	Ga	-0,529	Fe ³⁺	+	e ⁻	⇌	Fe ²⁺	+0,771
Fe ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Fe	-0,400 2	2Hg ²⁺	+	e ⁻	⇌	Hg ₂ ²⁺	+0,907 5
Cd ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Cd	-0,402 9	Pu ⁴⁺	+	e ⁻	⇌	Pu ³⁺	+0,981 8
Co ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Co	-0,277	Rh ³⁺	+	e ⁻	⇌	Rh ²⁺	+1,20
Ni ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Ni	-0,250	Tl ³⁺	+	2e ⁻	⇌	Tl ⁺	+1,25
Sn ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Sn	-0,136	Ce ⁴⁺	+	e ⁻	⇌	Ce ³⁺	+1,28
Pb ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Pb	-0,126	Au ³⁺	+	2e ⁻	⇌	Au ⁺	+1,402
2D ⁺	+	2e ⁻	⇌	D ₂	-0,003 4	Mn ³⁺	+	e ⁻	⇌	Mn ²⁺	+1,51
-----					Bk ⁴⁺	+	e ⁻	⇌	Bk ³⁺	+1,62	
2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂	±0,000 0	Pb ⁴⁺	+	2e ⁻	⇌	Pb ²⁺	+1,80
-----					Co ³⁺	+	e ⁻	⇌	Co ²⁺	+1,808	
Cu ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Cu	+0,337	Ag ²⁺	+	e ⁻	⇌	Ag ⁺	+1,980
Ag ⁺	+	e ⁻	⇌	Ag	+0,799 1						
Hg ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Hg	+0,854						
Pd ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Pd	+0,987						
Pt ²⁺	+	2e ⁻	⇌	Pt	+1,2						
Au ³⁺	+	3e ⁻	⇌	Au	+1,498						

Řada napětí nekovů a metaloidů (kyselý roztok)

Nekovy (metaloidy) jako redukovadla				Nekovy (metaloidy) jako oxidovadla													
Ox	+	e ⁻	⇌ Red	E ⁰ (V)	Ox	+	e ⁻	⇌ Red	E ⁰ (V)								
H ⁺	+	e ⁻	⇌	H(g)	-2,1065	½H ₂	+	e ⁻	⇌	H ⁻	-2,25						
H ₃ BO ₃	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	B	+	3H ₂ O	-0,8698	Po	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	PoH ₂	> -1,00
SiO ₂	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	Si	+	2H ₂ O	-0,857	Bi	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	BiH ₃	< -0,8
H ₃ PO ₃	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	P	+	3H ₂ O	-0,505	Te	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂ Te	-0,718
GeO ₂	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	Ge	+	2H ₂ O	-0,15	As	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	AsH ₃	-0,607
H ⁺	+	e ⁻	⇌	½H ₂	±0,0000	Sb	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	SbH ₃	-0,510				
SbO ⁺	+	2H ⁺	+	3e ⁻	⇌	Sb	+	H ₂ O	+0,213	Se	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂ Se	-0,399
HA ₃ O ₂	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	As	+	2H ₂ O	+0,2476	Ge	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	GeH ₄	< -0,3
BiO ⁺	+	2H ⁺	+	3e ⁻	⇌	Bi	+	H ₂ O	+0,320	B	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	½(BH ₃) ₂	-0,14
H ₂ SO ₃	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	S	+	3H ₂ O	+0,450	P	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	PH ₃	-0,063
CO	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	C	+	H ₂ O	+0,51	Si	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	SiH ₄	+0,102
TeO ₂	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	Te	+	2H ₂ O	+0,529	C	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	CH ₄	+0,131
H ₂ SeO ₃	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	Se	+	3H ₂ O	+0,740	S	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂ S	+0,142
PoO ₂	+	4H ⁺	+	4e ⁻	⇌	Po	+	2H ₂ O	+0,73	½N ₂	+	4H ⁺	+	3e ⁻	⇌	NH ₄ ⁺	+0,27
HA ⁺	+	H ⁺	+	e ⁻	⇌	½At ₂	+	H ₂ O	+1,0	½At ₂	+	e ⁻	⇌	At ⁻	+0,2		
HIO	+	H ⁺	+	e ⁻	⇌	½I ₂	+	H ₂ O	+1,45	½I ₂	+	e ⁻	⇌	I ⁻	+0,535		
HNO ₂	+	3H ⁺	+	3e ⁻	⇌	½N ₂	+	2H ₂ O	+1,45	½Br ₂	+	e ⁻	⇌	Br ⁻	+1,065		
HBrO	+	H ⁺	+	e ⁻	⇌	½Br ₂	+	H ₂ O	+1,595	½O ₂	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂ O	+1,229
HClO	+	H ⁺	+	e ⁻	⇌	½Cl ₂	+	H ₂ O	+1,630	½Cl ₂	+	e ⁻	⇌	Cl ⁻	+1,359		
O ₃	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	O ₂	+	H ₂ O	+2,07	O	+	2H ⁺	+	2e ⁻	⇌	H ₂ O	+2,422
										½F ₂	+	H ⁺	+	e ⁻	⇌	HF(aq)	+3,06

Řada napětí komplikovanějších redox systémů (kyselý roztok)

Ox	+ e ⁻	⇌	Red	E ⁰ (V)
H ₃ PO ₃	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₃ PO ₂ + H ₂ O	-0,499
H ₃ PO ₄	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₃ PO ₃ + H ₂ O	-0,276
2SO ₄ ²⁻	+ 10H ⁺ + 8e ⁻	⇌	S ₂ O ₃ ²⁻ + 5H ₂ O	+0,29
SO ₄ ²⁻	+ 4H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₂ SO ₃ + H ₂ O	+0,172
H ₃ AsO ₄	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₃ AsO ₃ + H ₂ O	+0,560
O ₂	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₂ O ₂	+0,682 4
NO ₃ ⁻	+ 3H ⁺ + 2e ⁻	⇌	HNO ₂ + H ₂ O	+0,94
NO ₃ ⁻	+ 4H ⁺ + 3e ⁻	⇌	NO + 2H ₂ O	+0,96
HNO ₂	+ H ⁺ + e ⁻	⇌	NO + H ₂ O	+0,98
IO ₃ ⁻	+ 6H ⁺ + 6e ⁻	⇌	I ⁻ + 3H ₂ O	+1,086
SeO ₄ ²⁻	+ 4H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₂ SeO ₃ + H ₂ O	+1,15
MnO ₂	+ 4H ⁺ + 2e ⁻	⇌	Mn ²⁺ + 2H ₂ O	+1,23
Cr ₂ O ₇ ²⁻	+ 14H ⁺ + 6e ⁻	⇌	2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	+1,33
ClO ₃ ⁻	+ 6H ⁺ + 6e ⁻	⇌	Cl ⁻ + 3H ₂ O	+1,45
PbO ₂	+ 4H ⁺ + 2e ⁻	⇌	Pb ²⁺ + 2H ₂ O	+1,455
HClO	+ H ⁺ + 2e ⁻	⇌	Cl ⁻ + H ₂ O	+1,495
MnO ₄ ⁻	+ 8H ⁺ + 5e ⁻	⇌	Mn ²⁺ + 4H ₂ O	+1,51
H ₂ O ₂	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	2H ₂ O	+1,776
O ₃	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	O ₂ + H ₂ O	+2,07
F ₂ O	+ 2H ⁺ + 4e ⁻	⇌	2F ⁻ + H ₂ O	+2,15
S ₂ O ₈ ²⁻	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	2HSO ₄ ⁻	+2,18
FeO ₄ ²⁻	+ 8H ⁺ + 3e ⁻	⇌	Fe ³⁺ + 4H ₂ O	+2,20
O(g)	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	H ₂ O	+2,422
H ₄ XeO ₆	+ 2H ⁺ + 2e ⁻	⇌	XeO ₃ + 3H ₂ O	+3,00

Řada napětí kovů (zásaditý roztok)

Ox	+ e ⁻	⇌	Red	E ⁰ (V)
Li ⁺	+ e ⁻	⇌	Li	-3,045
Ca(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Ca + 2OH ⁻	-3,02
K ⁺	+ e ⁻	⇌	K	-2,925
Na ⁺	+ e ⁻	⇌	Na	-2,714
Mg(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Mg + 2OH ⁻	-2,690
BeO	+ H ₂ O + 2e ⁻	⇌	Be + 2OH ⁻	-2,613
Al(OH) ₄ ⁻	+ 3e ⁻	⇌	Al + 4OH ⁻	-2,33
Mn(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Mn + 2OH ⁻	-1,55
Ga(OH) ₄ ⁻	+ 3e ⁻	⇌	Ga + 4OH ⁻	-1,219
Zn(OH) ₄ ²⁻	+ 2e ⁻	⇌	Zn + 4OH ⁻	-1,215
Cr(OH) ₄ ⁻	+ 3e ⁻	⇌	Cr + 4OH ⁻	-1,27
Sn(OH) ₃ ⁻	+ 2e ⁻	⇌	Sn + 3OH ⁻	-0,909
Fe(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Fe + 2OH ⁻	-0,877
Cd(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Cd + 2OH ⁻	-0,809
Co(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Co + 2OH ⁻	-0,73
Ni(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Ni + 2OH ⁻	-0,72
Sb(OH) ₄ ⁻	+ 3e ⁻	⇌	Sb + 4OH ⁻	-0,66
Pb(OH) ₃ ⁻	+ 2e ⁻	⇌	Pb + 3OH ⁻	-0,540
Bi ₂ O ₃	+ 3H ₂ O + 6e ⁻	⇌	2Bi + 6OH ⁻	-0,46
Cu(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Cu + 2OH ⁻	-0,22
Pd(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Pd + 2OH ⁻	+0,07
HgO	+ H ₂ O + 2e ⁻	⇌	Hg + 2OH ⁻	+0,098
Pt(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Pt + 2OH ⁻	+0,15
Ag ₂ O	+ H ₂ O + 2e ⁻	⇌	2Ag + 2OH ⁻	+0,345
H ₂ AuO ₃ ⁻	+ H ₂ O + 3e ⁻	⇌	Au + 4OH ⁻	+0,70

Řada napětí při změnách oxidačního čísla (zásaditý roztok)

Ox	+ e ⁻	⇌	Red	E ⁰ (V)
U(OH) ₄	+ e ⁻	⇌	U(OH) ₃ + OH ⁻	-2,20
Cr(OH) ₃	+ e ⁻	⇌	Cr(OH) ₂ + OH ⁻	-1,10
Pu(OH) ₄	+ e ⁻	⇌	Pu(OH) ₃ + OH ⁻	-0,963
Sn(OH) ₆ ²⁻	+ 2e ⁻	⇌	Sn(OH) ₃ ⁻ + 3OH ⁻	-0,93
Fe(OH) ₃	+ e ⁻	⇌	Fe(OH) ₂ + OH ⁻	-0,559
2Cu(OH) ₂	+ 2e ⁻	⇌	Cu ₂ O + H ₂ O + 2OH ⁻	-0,080
Tl(OH) ₃	+ 2e ⁻	⇌	Tl(OH) + 2OH ⁻	-0,05
Mn(OH) ₃	+ e ⁻	⇌	Mn(OH) ₂ + OH ⁻	+0,15
Co(OH) ₃	+ e ⁻	⇌	Co(OH) ₂ + OH ⁻	+0,17
PbO ₂ + H ₂ O	+ 2e ⁻	⇌	PbO + 2OH ⁻	+0,247
2AgO + H ₂ O	+ 2e ⁻	⇌	Ag ₂ O + 2OH ⁻	+0,607

Řada napětí nekovů (zásaditý roztok)

Nekovy jako redukovač

Nekovy jako oxidovač

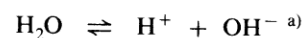
Ox	+ e ⁻ ⇌ Red	E ⁰ (V)	Ox	+ e ⁻ ⇌ Red	E ⁰ (V)
H ₂ O	+ e ⁻ ⇌ H(g) + OH ⁻	-2,934 5	½H ₂	+ e ⁻ ⇌ H ⁻	-2,25
H ₂ PO ₂ ⁻	+ e ⁻ ⇌ P + 2OH ⁻	-2,05	As + 3H ₂ O	+ 3e ⁻ ⇌ AsH ₃ + 3OH ⁻	-1,435
SiO ₃ ²⁻	+ 3H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ Si + 6OH ⁻	-1,697	Te	+ 2e ⁻ ⇌ Te ²⁻	-1,143
2H ₂ O	+ 2e ⁻ ⇌ H ₂ + 2OH ⁻	-0,828 06	Se	+ 2e ⁻ ⇌ Se ²⁻	-0,92
AsO ₂ ⁻	+ 2H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ As + 4OH ⁻	-0,675	P + 3H ₂ O	+ 3e ⁻ ⇌ PH ₃ + 3OH ⁻	-0,891
SO ₃ ²⁻	+ 3H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ S + 6OH ⁻	-0,61	½N ₂	+ 3H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ NH ₃ + 3OH ⁻	-0,74
TeO ₃ ²⁻	+ 3H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ Te + 6OH ⁻	-0,57	Si + 4H ₂ O	+ 4e ⁻ ⇌ SiH ₄ + 4OH ⁻	-0,73
HCO ₂ ⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ C + 3OH ⁻	-0,52	C + 4H ₂ O	+ 4e ⁻ ⇌ CH ₄ + 4OH ⁻	-0,70
SeO ₃ ²⁻	+ 3H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ Se + 6OH ⁻	-0,366	S	+ 2e ⁻ ⇌ S ²⁻	-0,447
2ClO ⁻	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ Cl ₂ + 4OH ⁻	+0,42	O ₂	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ HO ₂ ⁻ + OH ⁻	-0,076
2NO ₃ ⁻	+ 4H ₂ O + 6e ⁻ ⇌ N ₂ + 8OH ⁻	+0,41	½O ₂	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ 2OH ⁻	+0,401
2BrO ⁻	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ Br ₂ + 4OH ⁻	+0,457	½I ₂	+ e ⁻ ⇌ I ⁻	+0,535 5
2IO ⁻	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ I ₂ + 4OH ⁻	+0,434	½Br ₂	+ e ⁻ ⇌ Br ⁻	+1,065 2
O ₃	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ O ₂ + 2OH ⁻	+1,24	½Cl ₂	+ e ⁻ ⇌ Cl ⁻	+1,359 5
			O + H ₂ O	+ 2e ⁻ ⇌ 2OH ⁻	+1,594
			½F ₂	+ e ⁻ ⇌ F ⁻	+2,87

Řada napětí komplikovanějších redox systémů (zásaditý roztok)

Ox	+ e ⁻ ⇌ Red	E ⁰ (V)
H ₃ BO ₃	+ 5H ₂ O + 8e ⁻ ⇌ BH ₄ ⁻ + 8OH ⁻	-1,24
PO ₃ ³⁻	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ HPO ₃ ²⁻ + 3OH ⁻	-1,12
SO ₄ ²⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ SO ₃ ²⁻ + 2OH ⁻	-0,93
AsO ₄ ³⁻	+ 3H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ H ₂ AsO ₃ ⁻ + 4OH ⁻	-0,68
2SO ₃ ²⁻	+ 3H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ S ₂ O ₃ ²⁻ + 6OH ⁻	-0,571
CrO ₄ ²⁻	+ 4H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ Cr(OH) ₃ + 5OH ⁻	-0,13
MnO ₂	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ Mn(OH) ₂ + 2OH ⁻	-0,05
NO ₃ ⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ NO ₂ ⁻ + 2OH ⁻	+0,01
SeO ₄ ²⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ SeO ₃ ²⁻ + 2OH ⁻	+0,05
S ₄ O ₆ ²⁻	+ 2e ⁻ ⇌ 2S ₂ O ₃ ²⁻	+0,09
NO ₃ ⁻	+ 2H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ NO + 4OH ⁻	+0,13
PbO ₂	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ PbO(červ.) + 2OH ⁻	+0,247
MnO ₄ ⁻	+ 2H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ MnO ₂ + 4OH ⁻	+0,588
ClO ₃ ⁻	+ 3H ₂ O + 6e ⁻ ⇌ Cl ⁻ + 6OH ⁻	+0,62
HO ₂ ⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ 3OH ⁻	+0,878
ClO ⁻	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ Cl ⁻ + 2OH ⁻	+0,85
FeO ₄ ²⁻	+ 4H ₂ O + 3e ⁻ ⇌ Fe(OH) ₄ ⁻ + 4OH ⁻	+0,90
HXeO ₆ ³⁻	+ 2H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ HXeO ₄ ⁻ + 4OH ⁻	+0,94
O ₃	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ O ₂ + 2OH ⁻	+1,24
F ₂ O	+ H ₂ O + 4e ⁻ ⇌ 2F ⁻ + 2OH ⁻	+1,32
O	+ H ₂ O + 2e ⁻ ⇌ 2OH ⁻	+1,594
S ₂ O ₈ ²⁻	+ e ⁻ ⇌ 2SO ₄ ²⁻	+2,01

8.4 Iontový součin vody a hodnota pH

Pro disociační rovnováhu vody



platí podle zákona o působení hmoty vztah:

$$K_D = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

Vztáhneme-li prakticky konstantní koncentraci nedisociovaných molekul vody do rovnovážné konstanty, získáme iontový součin vody:

$$K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$$

popř. $(K_{\text{H}_2\text{O}})_T = a_{\text{H}^+} \cdot a_{\text{OH}^-}$, dosadí-li se místo koncentrací aktivity.^{b)}

Jak vyplývá z vodivostních měření (viz tab. 8.4.1), je hodnota iontového součinu vody při 25 °C

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14} \text{ mol}^2 \cdot \text{l}^{-2}$$

Záporný dekadický logaritmus koncentrace vodíkových iontů, resp. aktivity vodíkových iontů se označuje jako hodnota pH:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+], \text{ popř. } \text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$$

Analogicky pro koncentraci hydroxidových iontů platí:

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-]$$

Obě veličiny jsou v tomto vzájemném vztahu:

$$\text{pH} + \text{pOH} = \text{p}K_{\text{H}_2\text{O}} = 14$$

Výpočet koncentrace vodíkových iontů z hodnoty pH a naopak [14]

Podle definiční rovnice hodnoty pH platí:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \leftrightarrow [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

a) Pro hydratované ionty vodíku se zjednodušeně používá symbol H⁺.b) Pod pojmem aktivita se rozumí účinná koncentrace rozpuštěné částice X; lze ji vyjádřit pomocí aktivitního koeficientu γ vztahem: $a_X = [X] \cdot \gamma_X$.