



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Infopäev

Terased ehituses ja ehitusdisanis

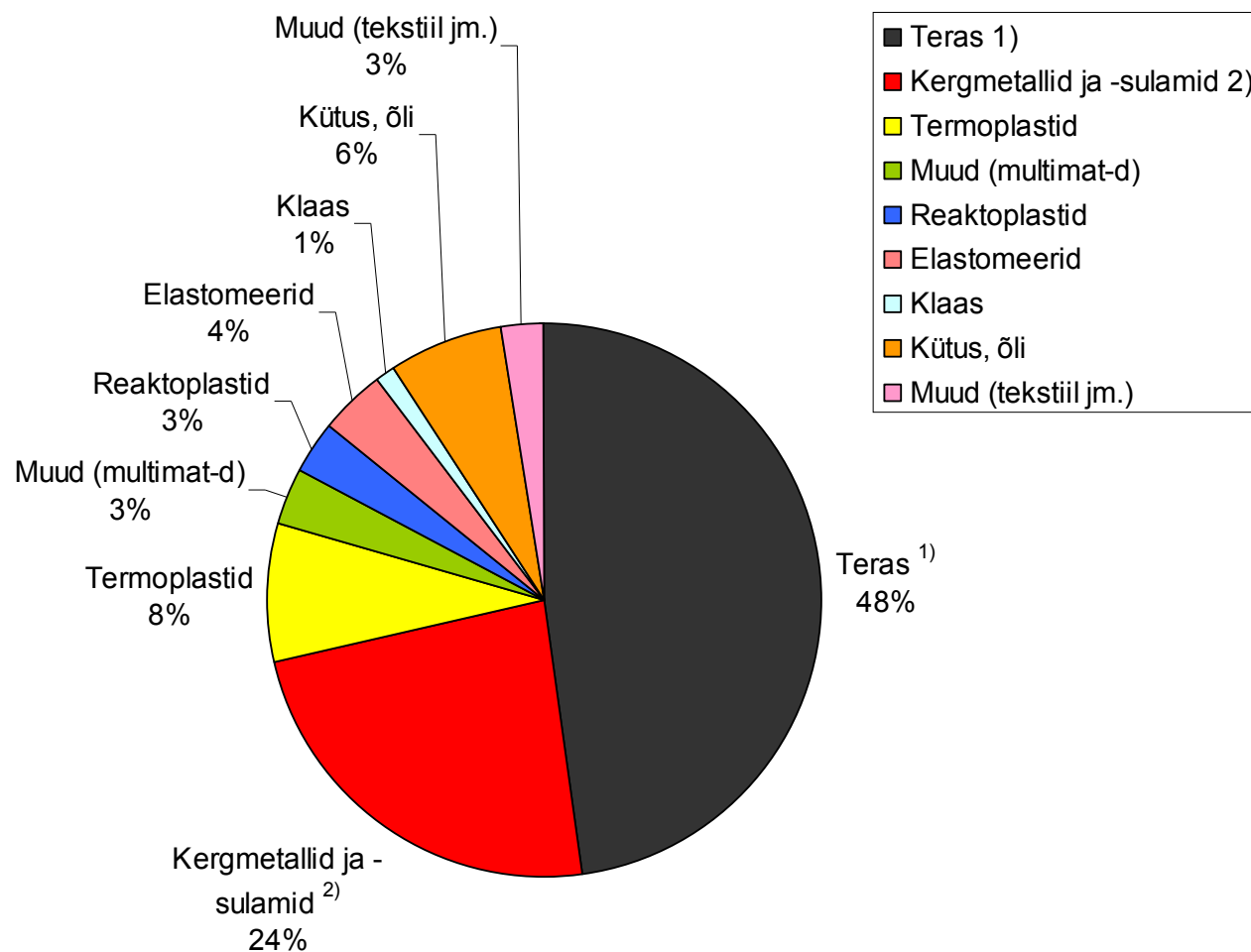
Priit Kulu

- Suundumised materjalitehnoloogiate valdkonnas
- Kõrgtugevad terased
- Teraste tähtsusüsteemist



Suundumised materjalitehnoloogiate valdkonnas

Innovaatilised materjalid ja protsessid autotehnikas

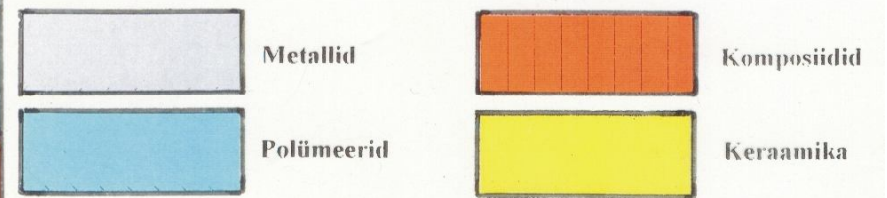
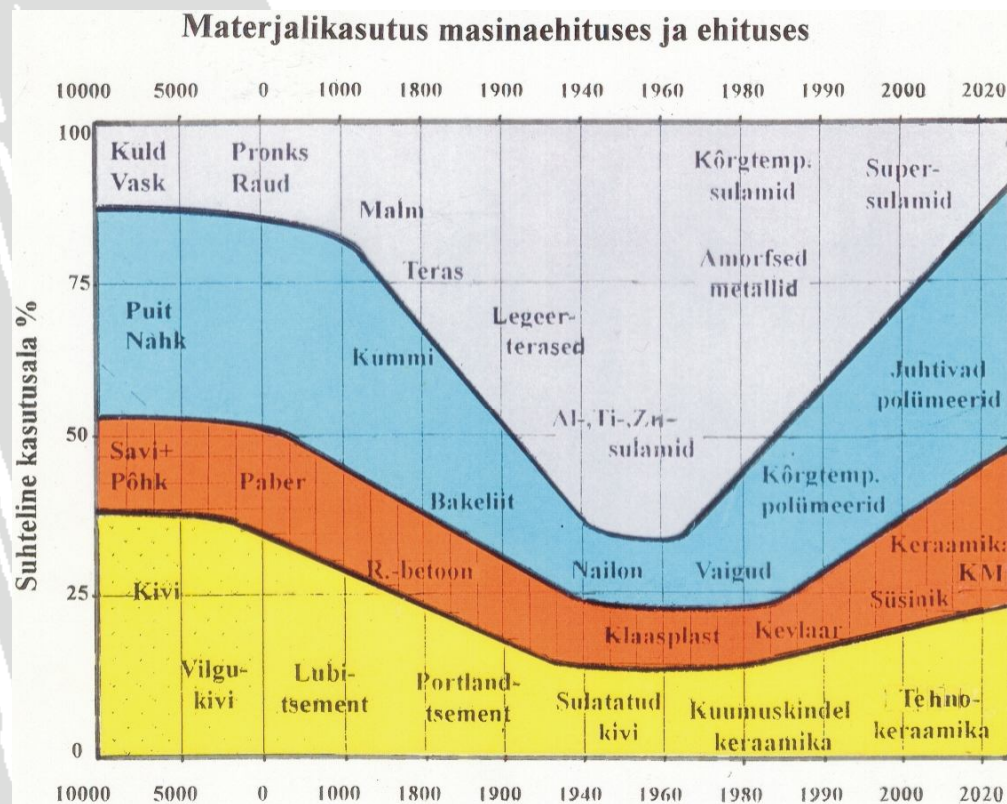


7. seeria BMW koostis	kg
Teras ¹⁾	881,7
Kergmetallid ja -sulamid ²⁾	438
Termoplastid	148
Muud (multimat-d)	61
Reaktoplastid	58
Elastomeerid	70
Klaas	25
Kütus, õli	120
Muud (tekstiil jm.)	47
KOKKU	1848,7

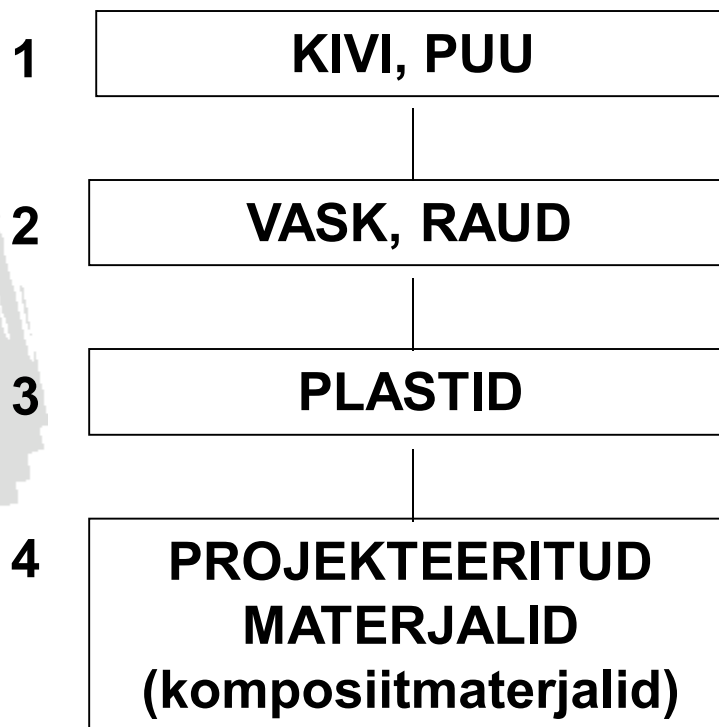
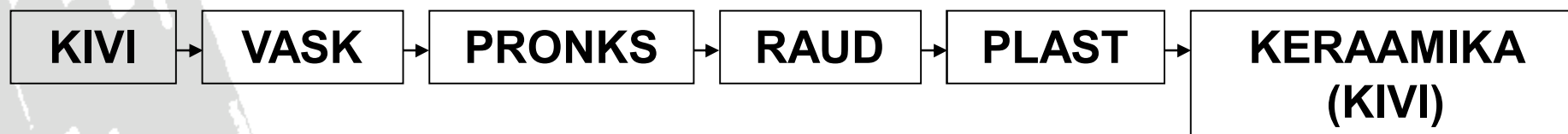
1) kõrgtugev teras
2) Al-raam

7. seeria BMW koostis

Materjalitehnoloogiate ajalooline ja kavandatav areng



Materjaliajastud



Materjalide klassifikatsioon ja arengusuundumused (1)

Põhilised materjaligrupid:

- metalsed konstruktsioonimaterjalid ja metallmaatrikskomposiidid,
- konstruktsioonikeraamika ja keraamikamaatrikskomposiidid,
- plastid ja polümeermaatrikskomposiidid,
- multimaterjalid,
- elektri- ja magnetmaterjalid,
- biomaterjalid,
- pakendmaterjalid,
- materjalide ringlus ja korduvkasutus

Prioriteetid materjalide valdkonnas

- kergkaalulisus,
- kõrgtemperatuursed materjalid,
- biomaterjalid ja biosobilikkus,
- multifunktsionaalsus ja arukus,
- materjalide ja nende valmistustehnoloogiate arvutimodelleerimine,
- säästlikkus,
- minimeerimine ja bioimiteerimine

Kergmetallid ja -sulamid

Mg-sulamid (Mg: $\rho = 1740 \text{ kg/m}^3$, $T_s = 649^\circ\text{C}$)

Legeerivad elemendid: Al 3 - 10%; Zn, kuni 5 – 6%; Mn; Zr

$R_m \rightarrow 300 \text{ N/mm}^2$ (deformeeritavad)		$R_m/\rho \rightarrow 20$
220 N/mm ² (valusulamid)		

Al-sulamid

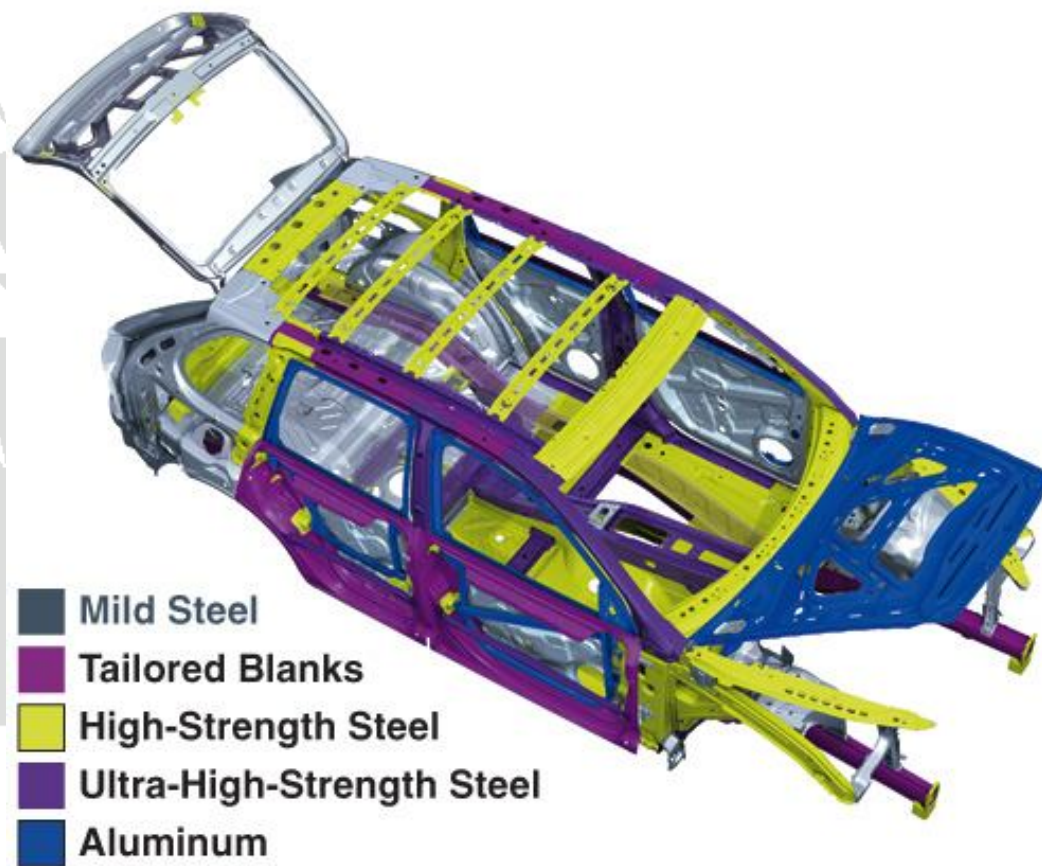
- Al-Li sulamid (Li ainus, mis $\uparrow R_m$, E, kuid $\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$) – 2Li, $\rightarrow 4\text{Mg}$, $R_m = 220 - 350$; $R_{p0,2} = 135 - 210 \text{ N/mm}^2$
- Pulberalumiiniumsulamid
 - dispersioontugevdatud Al-sulamid (SAP- $\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow 15\%$, Al-C-sulamid – $\text{Al}_4\text{C}_3 \rightarrow 20 \text{ mahu}\%$), lubatud töötemperatuur kuni 550°C
- Vahtalumiinium ($\rho \sim 200 \text{ kg/m}^3$)



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kõrgtugevad terased



Kõrgtugevad titaanisulamid

Ti-sulamid (Ti: $\rho = 4540 \text{ kg/m}^3$, $T_s - 1660 \text{ }^\circ\text{C}$)

TiAl6V4 (tava, TT)

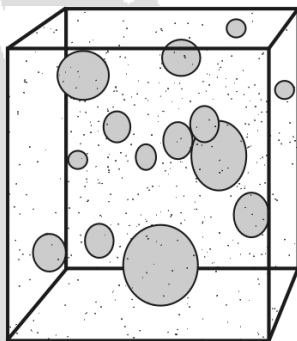
$R_m \rightarrow (1200 - 1300) \text{ N/mm}^2 \rightarrow \max R_m/\rho \rightarrow 34, A$
 $= 12\%$

TiAl6V4 (valu+HIP)

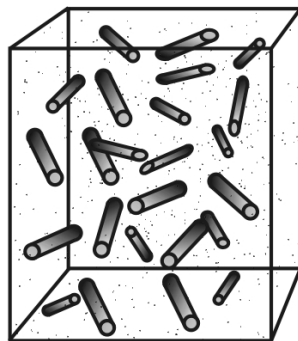
$R_m \rightarrow 1000, R_{p0,2} \rightarrow 860 \text{ N/mm}^2, A = 10\%$

Komposiitmaterjalid

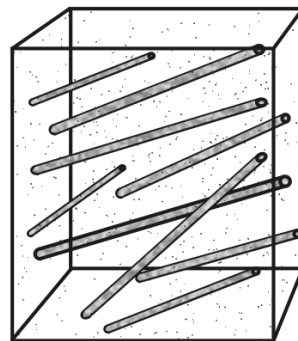
Dispersioon-
armeeritud



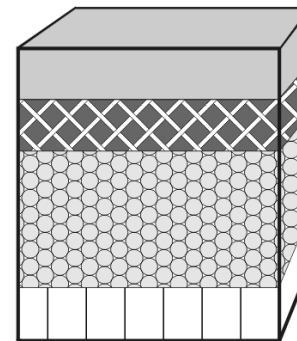
Lühikiud-
armeeritud



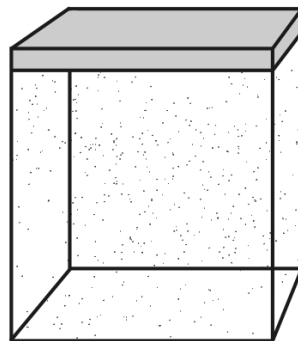
Pidevkiud-
armeeritud



Sandwich-
tüüpi



Pinnatud



Pulbertehnoloogia materjalitehnoloogias

A. Kompaktmaterjalid • Roostevabad terased • Eriterased • Ni supersulamid • Co supersulamid • Cu sulamid • Ti sulamid		→ Suurepäraseid omadused
B. Komposiitmaterjalid • Metallkeraamilised ja keraamilis-metalsed komposiidid • Metall-metallkomposiidid		→ Projekteeritud omadused
C. Multimaterjalid <u>Õhukesed pind</u> • PVD- ja CVD-pind 1...5 µm • DLC-pind - kuni 1 µm <u>Paksud pind</u> • Termopind 0,1 mm ja enam • HIP-pind • laserkeevipind	→	Parendatud omadused
D. Materjalid intermetallide baasil		→ Eriksutus
E. Nanomaterjalid		→ Uus dimensioon materjalitehnoloogias



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PULBERMETALLURGIA (PM) (1)

PM (Seotud eelkõige autotööstusega, autol USA-s 2004 a. 19,5 kg. Uued automootorid → 12 kg PM detaile)

Pulbrid – eellegeeritud pulbrid, ülipeenad lisandid – Ni (1 – 2) μm

Tehnoloogiad – pulbersepistamine (PF), nt kepsud

Materjalid - $\rho \rightarrow 7,75 \text{ g/cm}^3$ – hammasrataste hambad

- PM detailid → asend. meh. töödeldud ja valatud
- PM Al- ja Ti-sulamid asendavad valandeid ja sepiseid

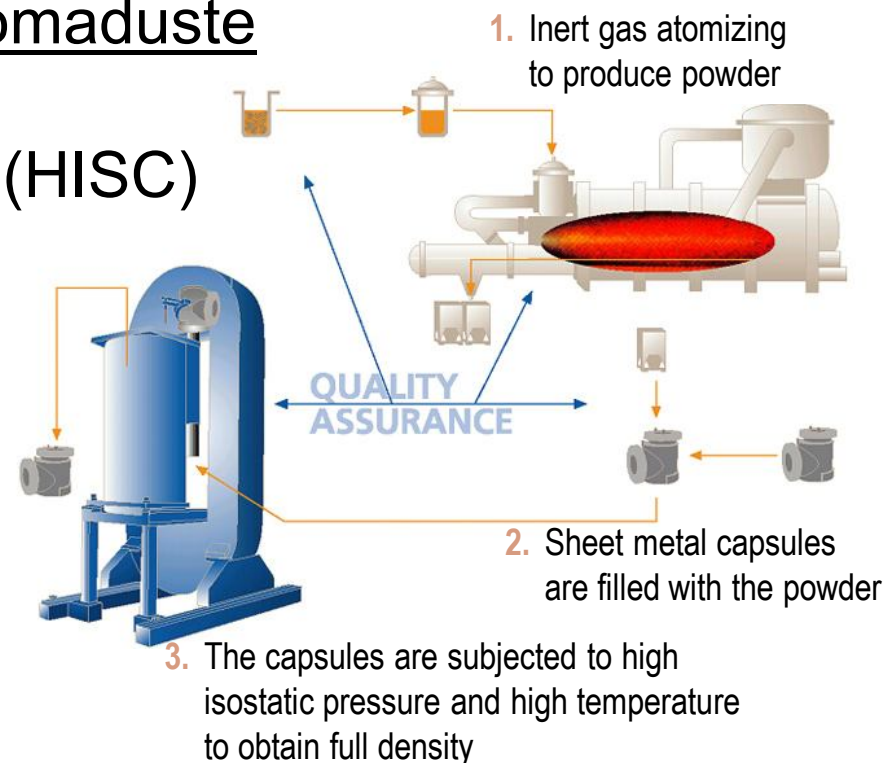


Pulbermetallurgia (2)

PM/HIP

Eelised:

- väga peen mikrostruktuur ja omaduste isotoopsus → võimaldab UT, mittekalduv vesinikharpusele (HISC)
- teised
 - kuju lähedus,
 - konstruktsiooni paindlikkus,
 - mehaanilised omadused,
 - väikeseeria majanduslikkus

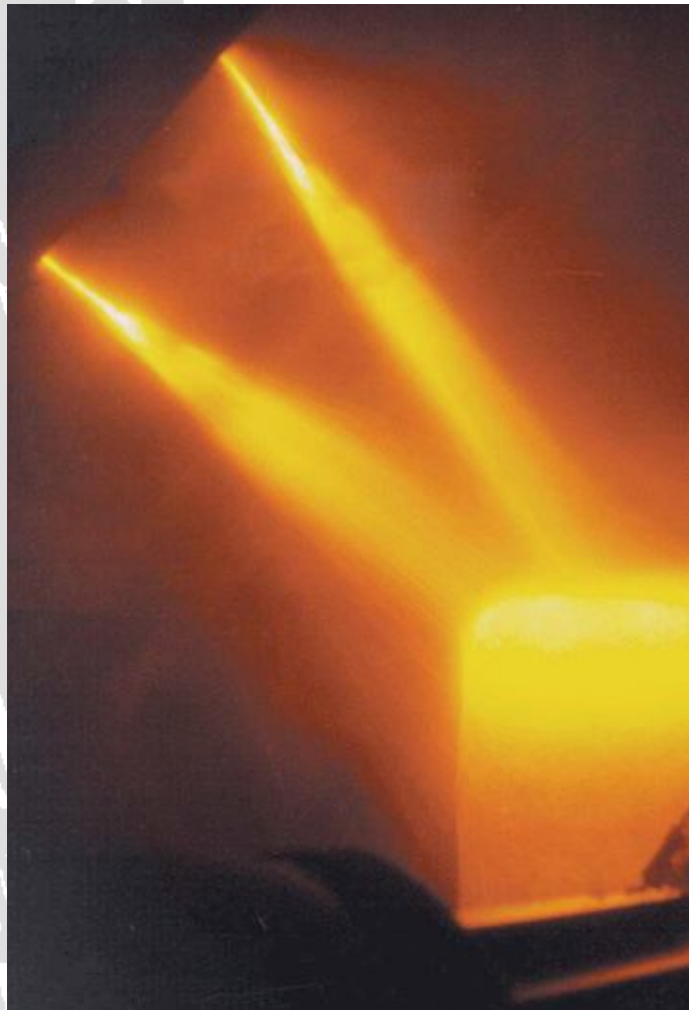


1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Pulbermetallurgia (3)



SF/HIP

Analoogne PM/HIP, tooriku
vormimisele
pihustusmeetodil



1918

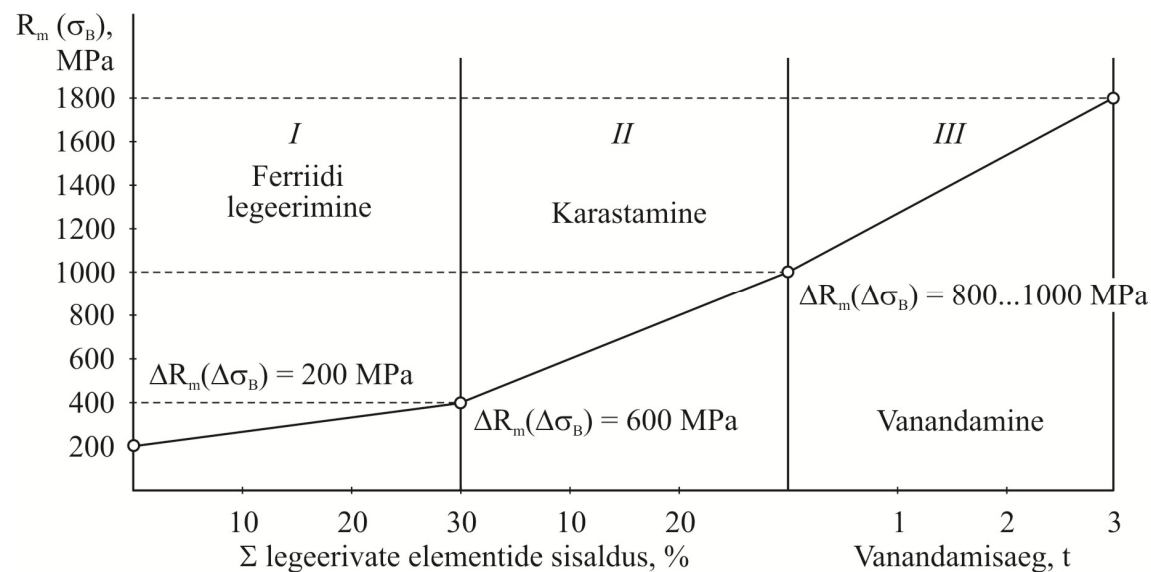
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Teraste tugevusklassid (lähtudes $R_{p0,2}$)

- I. madaltugevad ($>250 \text{ N/mm}^2$)
- II. kesktugevad ($250 \dots 750 \text{ N/mm}^2$)
- III. kõrgtugevad ($750 \dots 1500 \text{ N/mm}^2$)
- IV. ülitugevad ($<1500 \text{ N/mm}^2$)

Teraste tugevuse tõstmise viisid

1. struktuuri peenendamine
2. legerimine – B, mikroleg. elemendid – Nb, Ti, V ja N
3. madal C-terased → transkristalne purunemine
4. kahe- ja mitmefaasilised struktuurid – F+M; F+M+B
5. dispersioontugevdamine – mikro- ja nanoterased
6. martensiit-
vanandamine
7. TMT
- MTMT, KTMT
8. TRIP-terased



Kõrgtugevad terased (1)

Kõrgtugev teras (High Strength Steel) –
mis see on?

1920.-te lõpp

Teras St 52 (S355) sillaehituses →

Täna

S355 on standardmaterjal

Definitsioon “kõrgtugev” sõltub arengutasemest

Teras $R_{eH} > 355 \text{ MPa}$

Kõrgtugevad terased (2)

Madallegeerkõrgtugevad terased –

HSLA-terased

- C = 0,2..0,3% ; leg. el: Mn, Si
- Mikrolegeerimine Nb, Ti ja/või V – dispersioontugevnemine + peen tera

HX340LAD

HX460LAD

- $R_{p0,2} \rightarrow 560$; $R_m \rightarrow 640$; A – min 15%



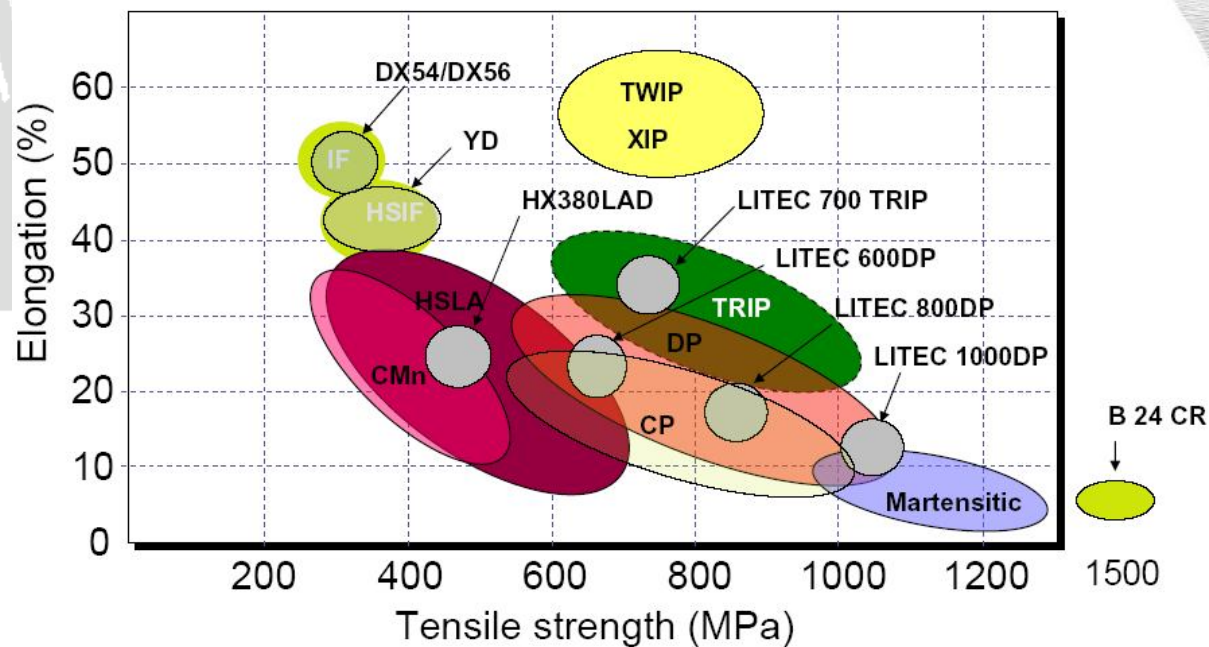
1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kõrgtugevad terased (3)

Kahe- ja mitmefaasilised/kompleksterased – DP ja CP-terased
Ülitugevad (UHS) vormitavad terased

- kahefaasilised **LITEC DP** $R_{p0,2} \rightarrow 750$; $R_m \rightarrow 980$; A – min 10%

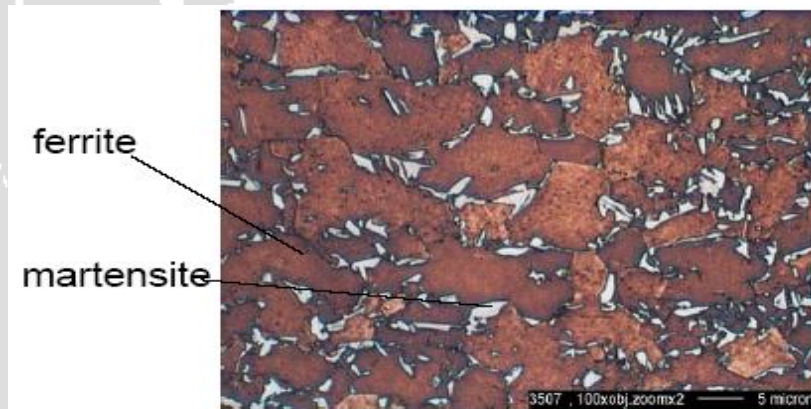


IKAÜLIKOOL
OF TECHNOLOGY

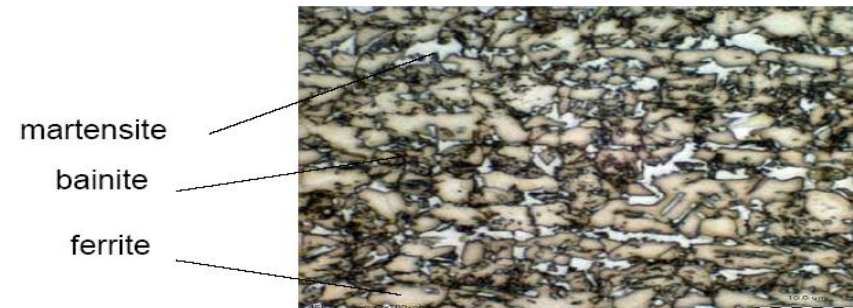
Kõrgtugevad terased (4)

- mitmefaasilised LITEC CP terased
 $R_{p0,2} \rightarrow 900$; $R_m \rightarrow 980$; A – 7%

DP-teras



CP-teras



- hea vormitavus suure tugevuse juures
- kõrge energia absorptsioonivõime
- suur kalestusaste
- hea väsimustugevus



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Martensiitvanandatavad terased (1)

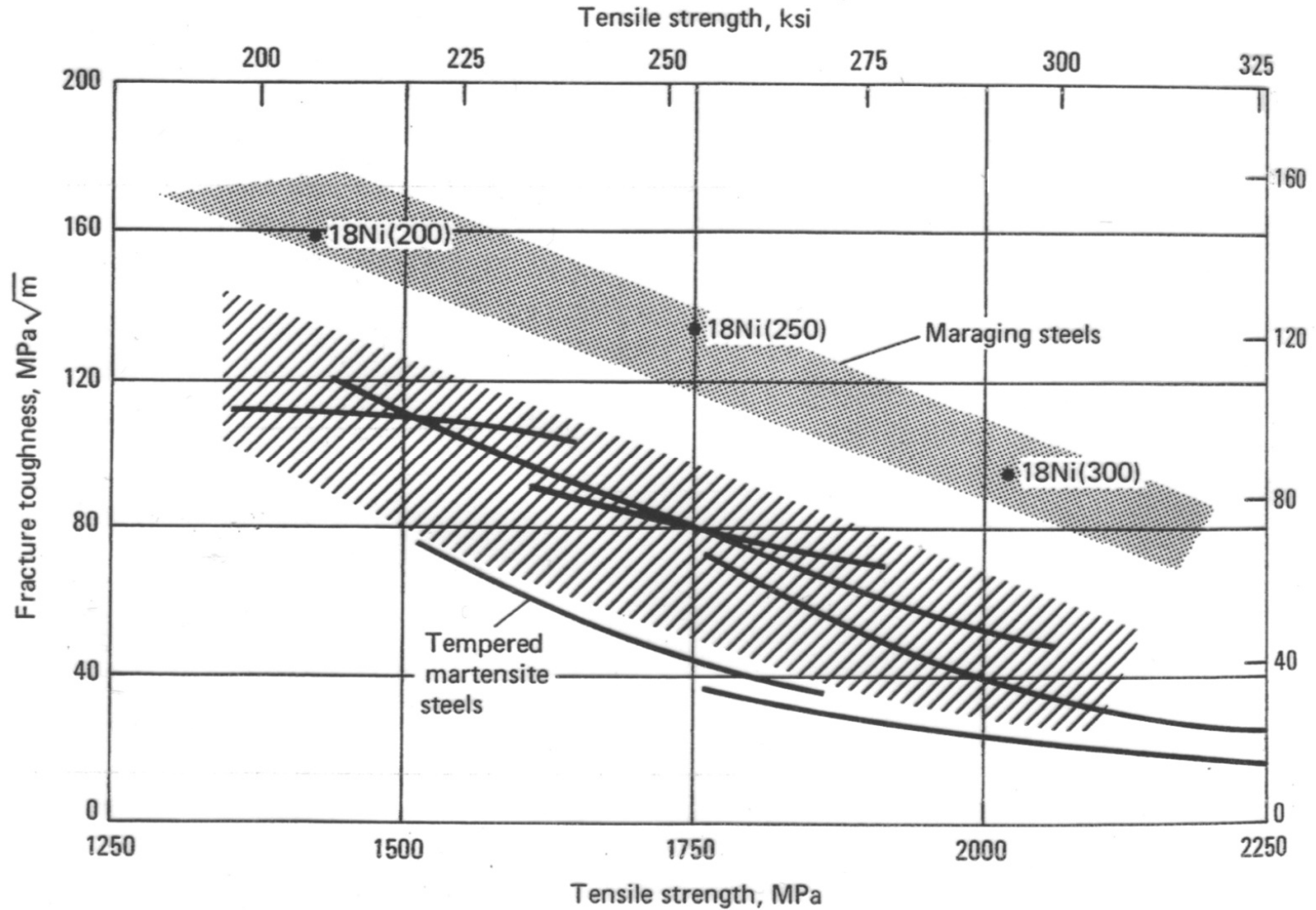
Martensiitterased ($\uparrow$ C%)

- madal plastsus ja sitkus suure R_m puhul
- M lagunemisel karbiidne faas $\rightarrow$ haprusele

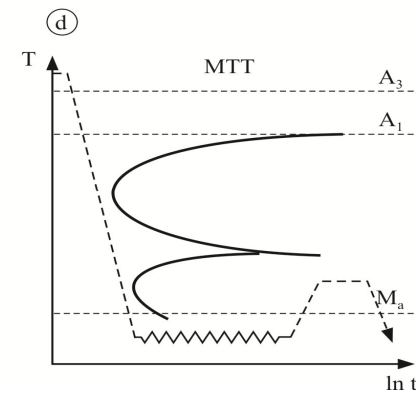
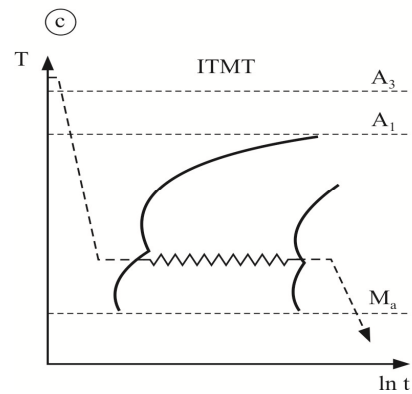
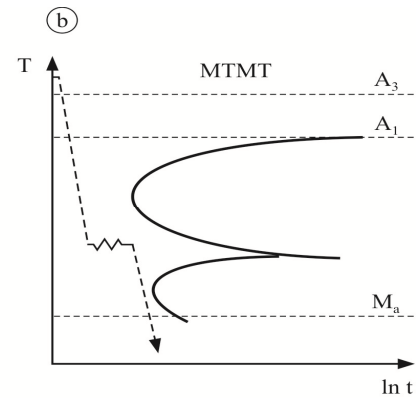
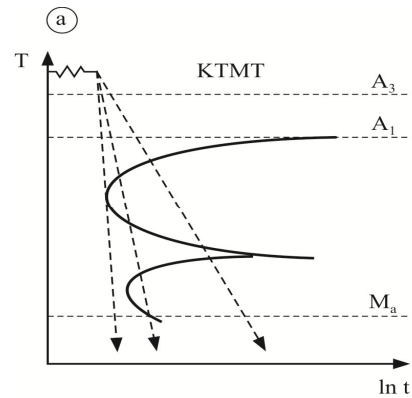
Maraging steels 1980 (Martensite ageing steels)

- madal C-sisaldus ($\sim 0,03\%$) $\rightarrow$ transkristalne purunemine
- leg.el. – Ni (17...25%), Mo + Ti, Al, Ta jt.
K $\rightarrow$ C-vaba martensiidi,
V $\rightarrow$ intermetallid (4 – 5) nm, (NiTi, Ni₃Ti, NiAl, Ni₃Mo jt.)
 $R_m \rightarrow 2000$, $R_{p0,2} \rightarrow 1500$, A = 10 - 12%

Martensitvanandataavad terased (2)



Termomehaaniline töötlemine-TMT



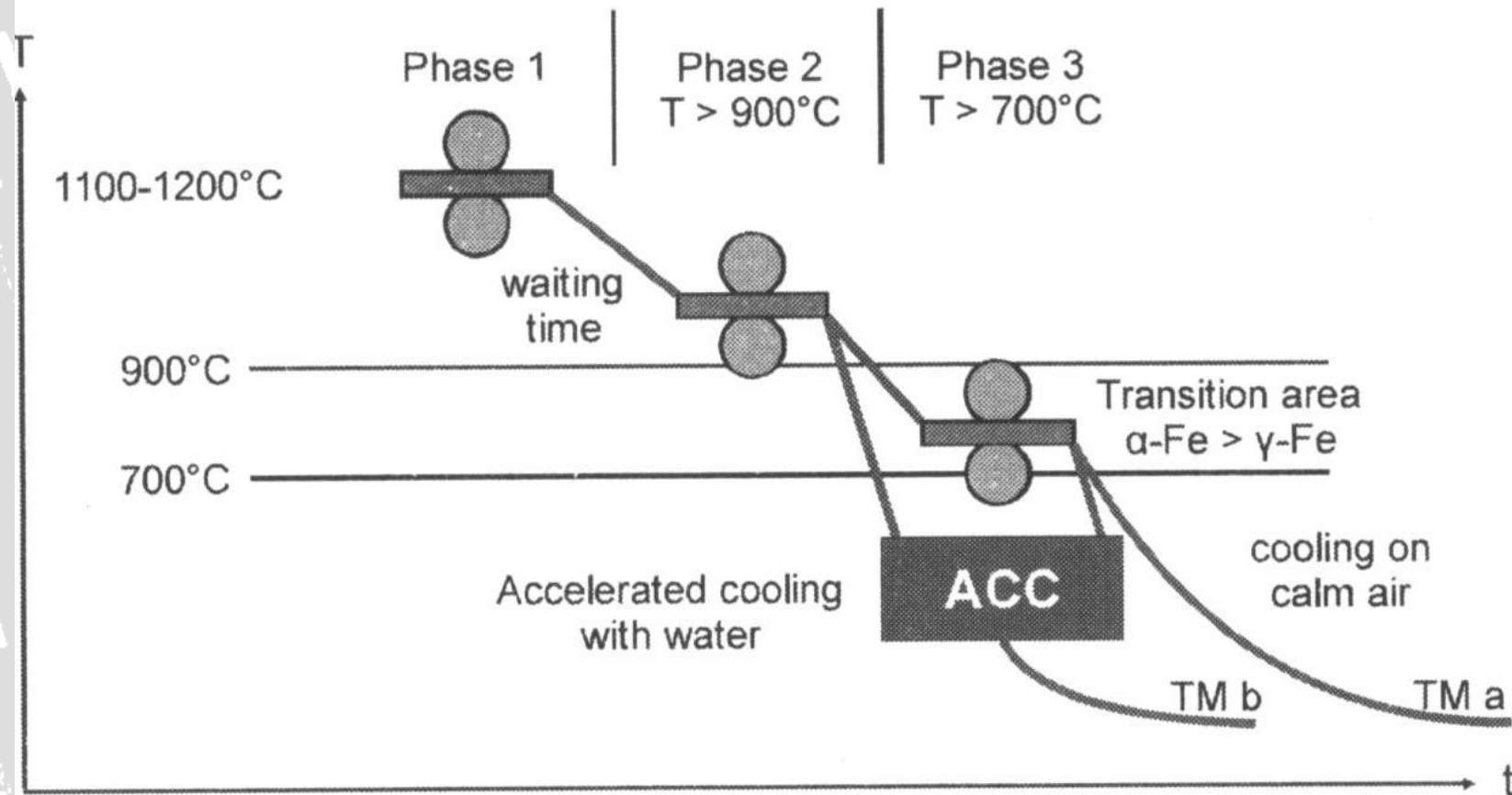
1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

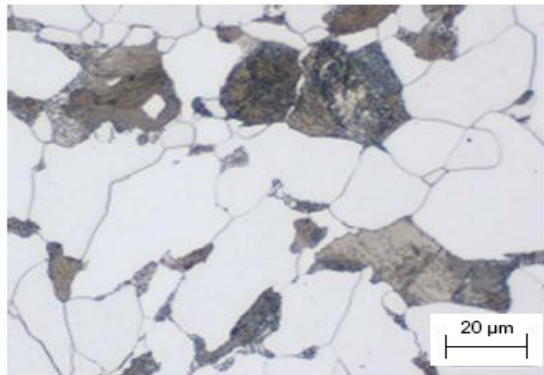
Väljastamisolekud

TM → Thermomechanical rolling



Eri termotöötusega teraste mikrostruktuurid

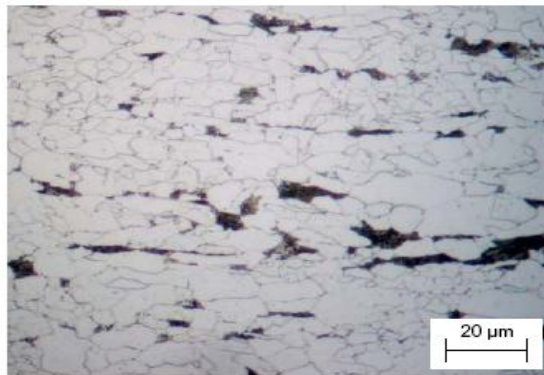
a) N



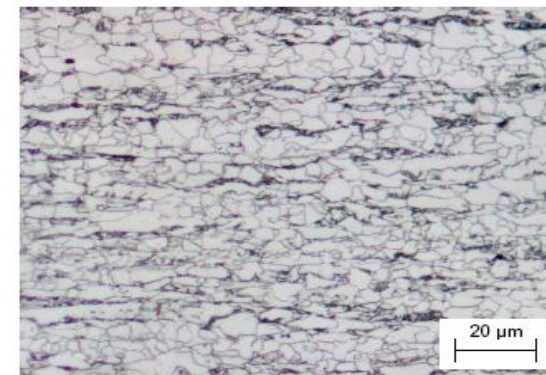
b) Q+T



c) TM



d) TM
+ACC

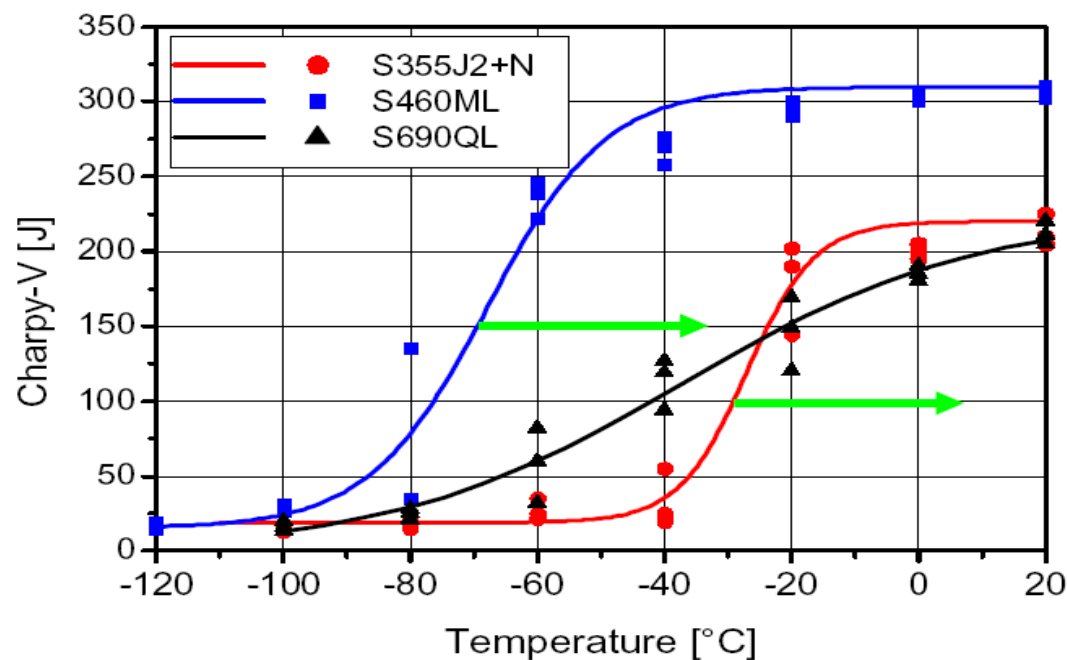


1918

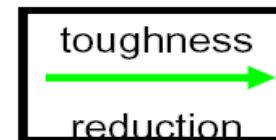
TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

TM teraste eelised

TM → High toughness / High safety



Welding leads to



High toughness in the base material reduces the risk of brittle fracture and gives safety!

TRIP-terased (*Transformation Induced Plasticity*)

- madallegeerterased (autotööstuses kasut.),
0,2-0,3% C; 1,5-2% Mn, Si + Al
(Si takistab T teket M lagunemisel)
- kõrglegeeritud Ni-Cr terased, 0,2-0,3% C; 8-32% Ni;
8-14% Cr + Mn (0,5...2,5%), Mo, Si

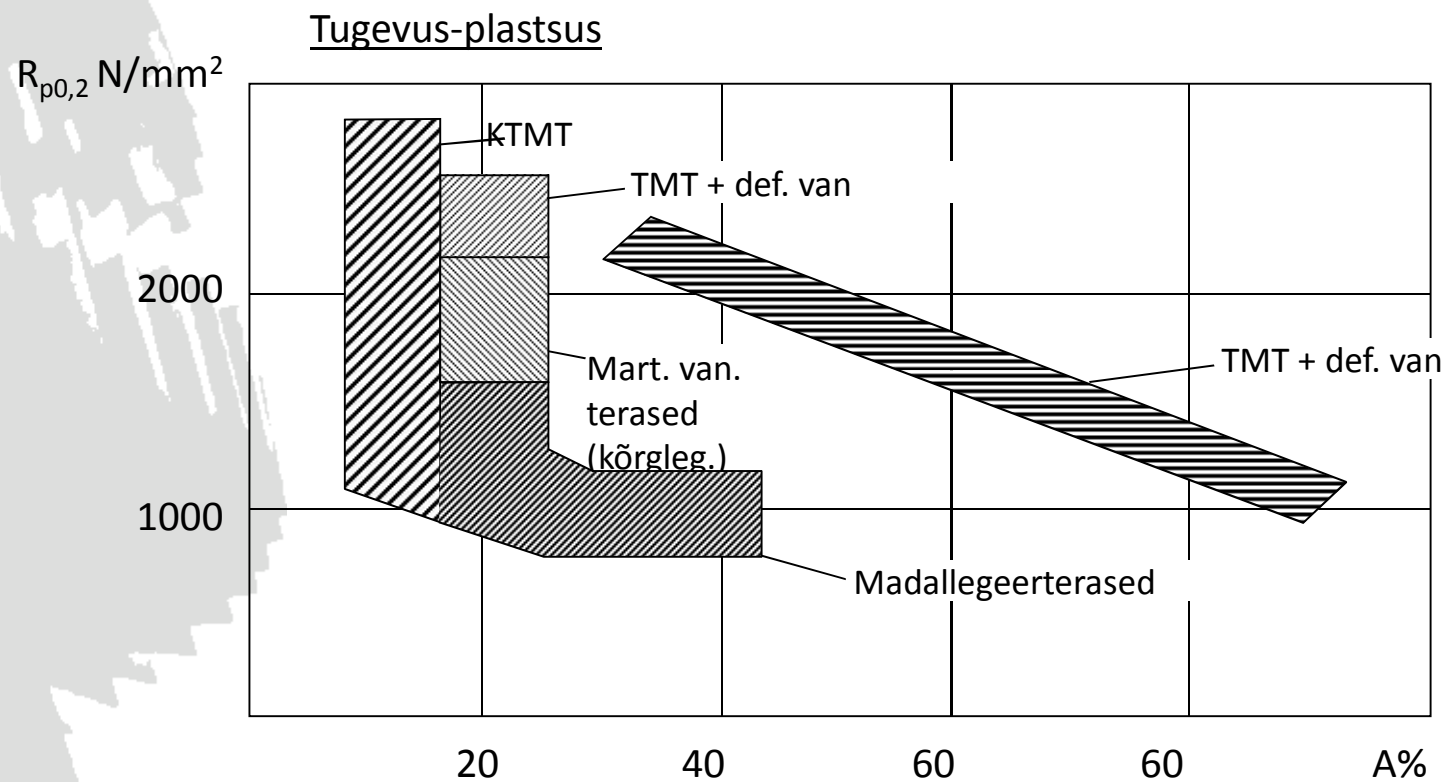
$T_{kar} = 985...1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Struktuur peale karastamist 3faasiline (F, B, $A_{jääk}$)

Plastisel def-l ($<T_{rekr} = 250...550\text{ }^{\circ}\text{C}$) $A_{jääk} \rightarrow M$ (säilib plastus)

$R_m \rightarrow 1700$; $R_{p0,2} \rightarrow 1550\text{ N/mm}^2$, $A = 50 - 60\%$, $\uparrow K_{1c}$, σ_{-1}

Kõrgtugevad terased



Ehitusterased (1)

Liigitus

- mittelegeerterased
- legeerterased

Mittelegeerterased (C = 0,2...0,65%)

- tava(kvaliteet)terased ($S \leq 0,05$, $P \leq 0,04\%$)
- kvaliteetterased ($S, P \leq 0,035\%$)
- vääristerased ($S, P \leq 0,025\%$)

- automaaditerased (C = 0,12...0,4%, $\rightarrow 0,2\%$ S)
- valuterased (C = 0,15...0,55%)



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Ehitusterased (2)

Legeerkonstruktsiooniterased (C = 0,2...0,7%, kul. terased 0,9...1,3%)

- Madallegeerterased (leg. el. → 2,5%)
 - ehitusterased
 - külmvormitavad terased
 - vedruterased (C = 0,5...0,7%, Si = 1...2%)
 - kuullaagriterased (C ≈ 1%, Cr = 0,5...0,6%)
- Kesklegeerterased (leg. el. 2,5...5%)
 - tsementiiditavad terased
 - parendatavad terased
 - nitriiditavad terased
- Kõrglegeerterased (leg. el. üle 5%)
 - roostevabad terased
 - kuumuskindlad terased
 - kulumiskindlad terased

Ehitusterased (3)

Ehitusterased

Madalsüsinikmadallegeerterased $C \leq 0,22\%$; 1...2% Si, Mn

Nõuded:

- Külmahaprus: madal külmahapruslävi (T_{KHL} , T_{50})
suur sitkus ($\uparrow$ purustustöö KU, KV)

- Keevitatavus

$$CE\% = C\% + Mn\%/6 + (Cr\% + Mo\% + V\%)/5 + (Ni\% + Cu\%)/15$$

$CE \leq 0,40\%$ - rahuldav keevitatavus

$CE \geq 0,40\%$ - erimeetmed: ettekuumutus, madallõõmutus.

Legeerimise põhimõtted: $\downarrow P, S \rightarrow \downarrow T_{KHL}$
Üheaegne leg. V, N $\rightarrow T_{KHL} - 80^\circ C$



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Teraste tähtsusüsteemist

Ehitusteraste tähistus (1)

Terased (EN10027)

Margitähised (1)

- Markeerimise alus: R_e
 - ehitusterased
 - surveotstarbelised terased
 - konstruktsiooniterased
 - magistraaltoruterased
 - sarrusterased
- Markeerimise alus: R_m
 - relsiterased
 - pingebetoonterased

S355J0

P265B

E295

L360QB

B500N

RO880Mn

Y1770C

°C	KU, J		
	27	40	60
+20	JR	KR	LR
0	J0	K0	L0
-20	J2	K2	L2
-30	J3	K3	L3
-40	J4	K4	L4
-50	J5	K5	L5
-60	J6	K6	L6



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Ehitusteraste tähistus (2)

Margitähised (2)

- Koostise järgi
 - **C** (mittelegeerterased, v.a. automaaditeras)
C35E
G-C35E (valuteras)
35 – C% $\times$ 100 (E – etteantud S-sisaldus)
 - **C, leg. el.** (madal- ja kesklegeerterased, leg. el. $\leq 5\%$, mittelegeerterased Mn $\geq 1\%$, mittelegeerautomaaditerased)
28Mn6
G-28Mn6
 - **C, leg. el.** (kõrglegeerterased, leg. el. $> 5\%$)
X5CrNi18-10
 - **Leg. el.** (kiirlõiketerased)
HS 12-9-1-8
W-Mo-V-Co

Legeeriv element	Kord aja
Cr, Co, Mn, Si, Ni, W	4
Al, Cu, Mo, Nb, Ti, V, Zr	10
Ce, P, S	100
B	1000

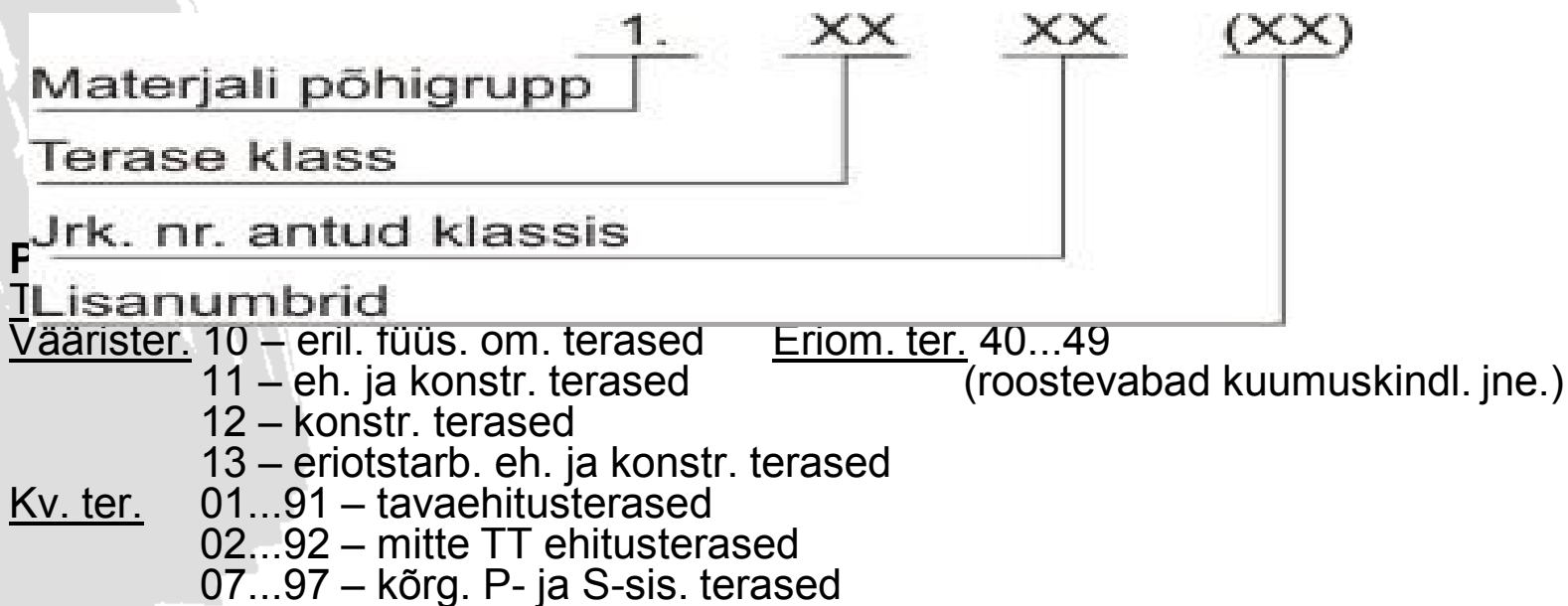


1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Ehitusteraste tähistus (3)

Tunnusnumbrite süsteem (EN 10027)



Pos. 4 ja 5

Järjekorra nr. antud klassis



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Teraste töötlus- ja viimistlustähised (1)

Teraste margitähistussüsteem EN 10027-1

Põhitähis – täht ja omadused

või

Lisatähis –

täht, C-sisaldus, legeerivad elemendid

iseloomustab mehaanilisi ja füüs. omadusi (Grupp 1)

või

keemilist koostist (Grupp 2)

Ehitusterased – lisatähis

Grupp 1	Grupp 2
purustustöö – J, K, L termotöötlust – A, M, N, Q muud – G	C – Eriline külm töötlus D – sukelduspinnatud E – emailitud L – tööks madalatel temperatuuridel M, N, Q – termotöötlust S – laevaehitus T – torud W – ilmastikukindel an – keemilise elemendi sümbolid ja %

Näiteks ehitusterased S 355 J0 M



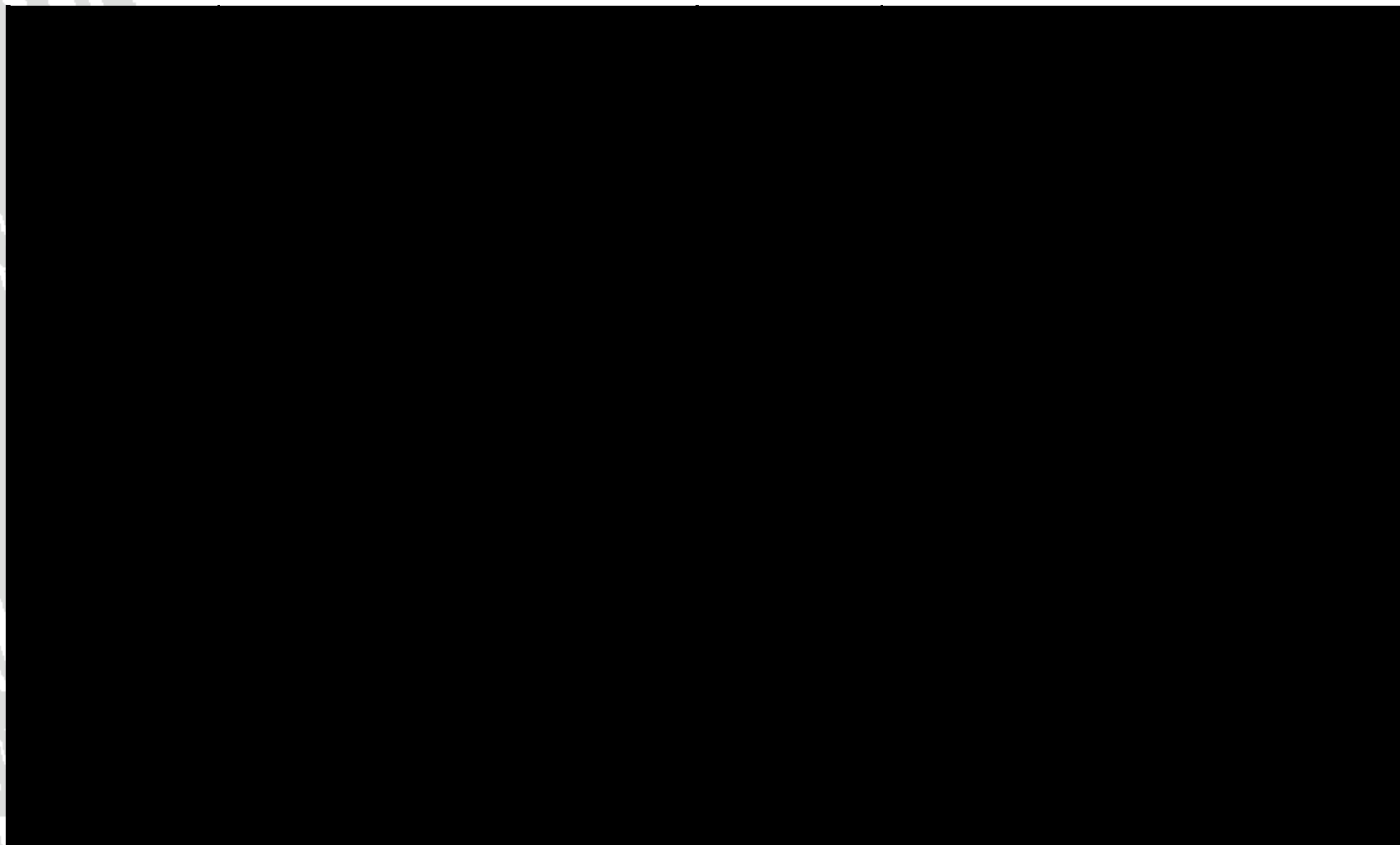
1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

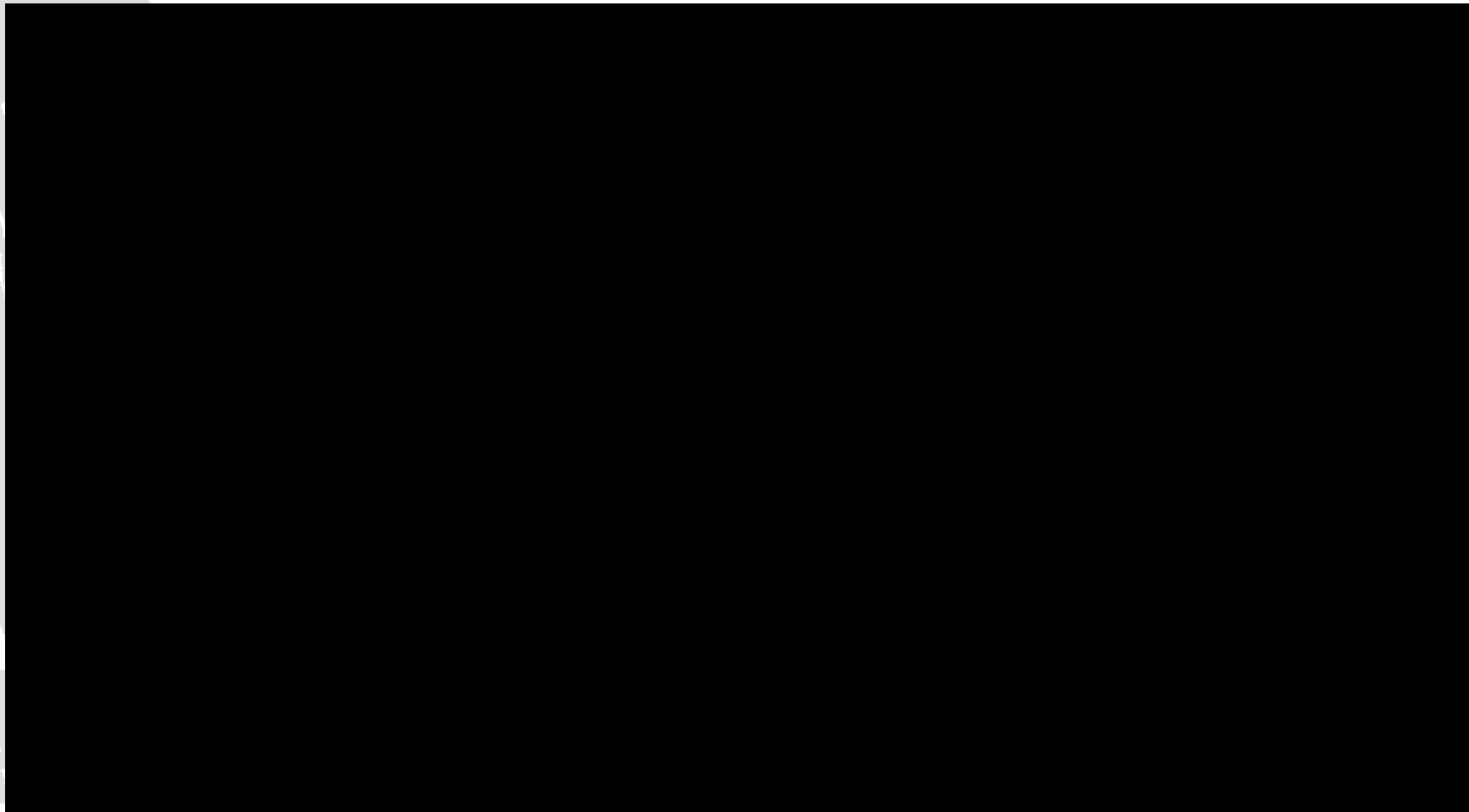
Teraste töötlus- ja viimistlustähised (2)

Terastoodete pinnetetähised



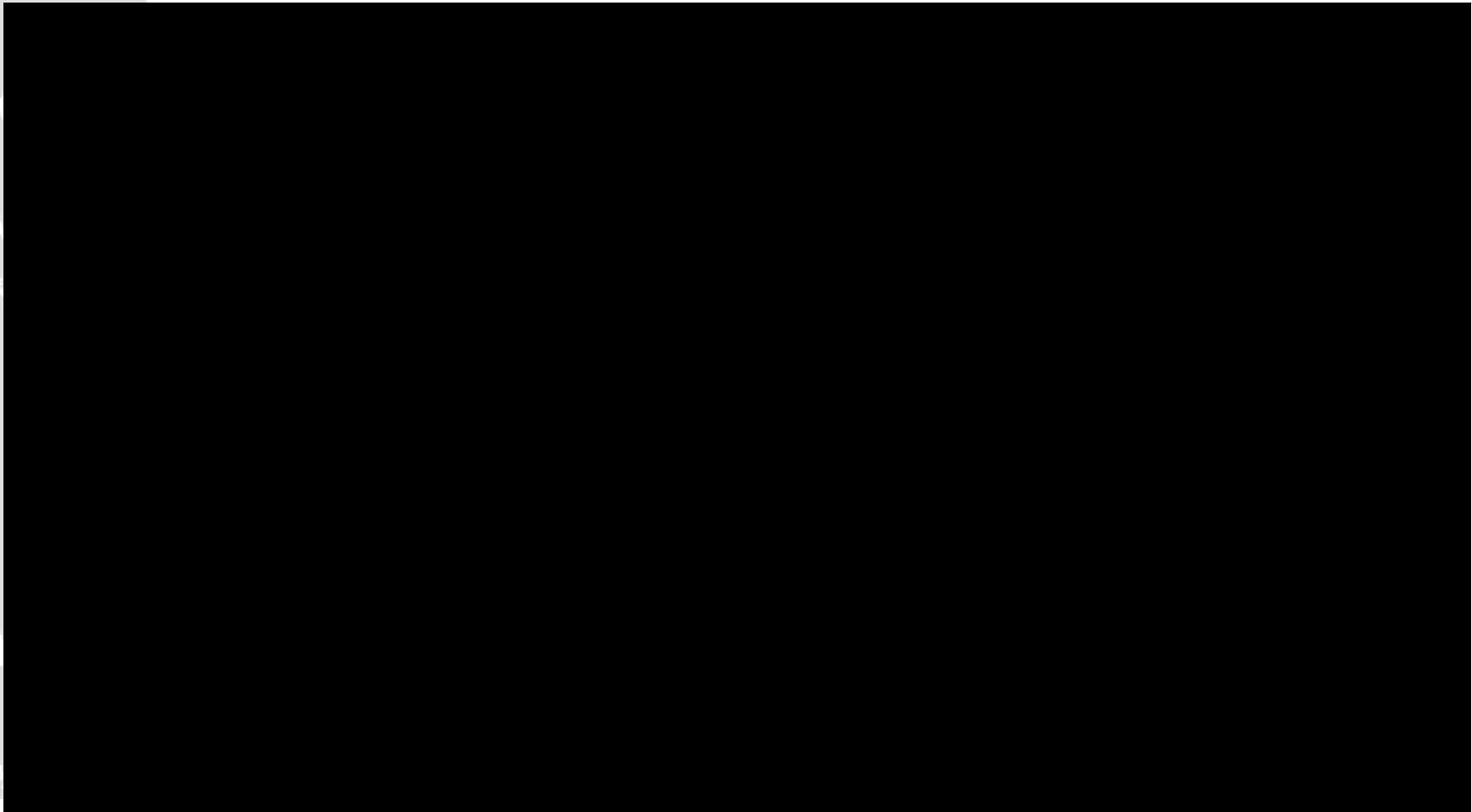
Teraste töötlus- ja viimistlustähised (3)

Terastoodete väljastamisoleku (töötluse) tähised (1)



Teraste töötlus- ja viimistlustähised (4)

Terastoodete väljastamisoleku (töötluse) tähised (2)



Zn-pinnete võrdlus

		Kuum- tsinkimine	Pihustus- tsinkimine	Kaar- tsinkimine	Sherardi- seerimine	Tsinkpulber- värvimine
Sulandumine terasega	(1)	x	0	0	x	0
Korrosioonikindlus	(1)	x	y	0	y	y
Katoodkaitse	(1)	x	y	x	y	z
Väsimuspiir	(1)	x	y	y	x	y
Kulumiskindlus	(1)	x	y	y	x	z
Piirangud mõõtmetele	(2)	y	x	z	z	x
Deformeeritavus	(2)	y	x	x	x	x
Kontrollivõimalus	(1)	x	y	z	x	z
Algmaksumus	(3)	x	y	z	y	z
Hooldusmaksumus	(3)	x	x	0	x	y
Sobivus aluskrundina	(1)	y	x	y	x	x

(1)

x – väga hea
y – hea
z – halb
0 – väga halb

(2)

mitte või väike
väike
suur
eriti suur

(3)

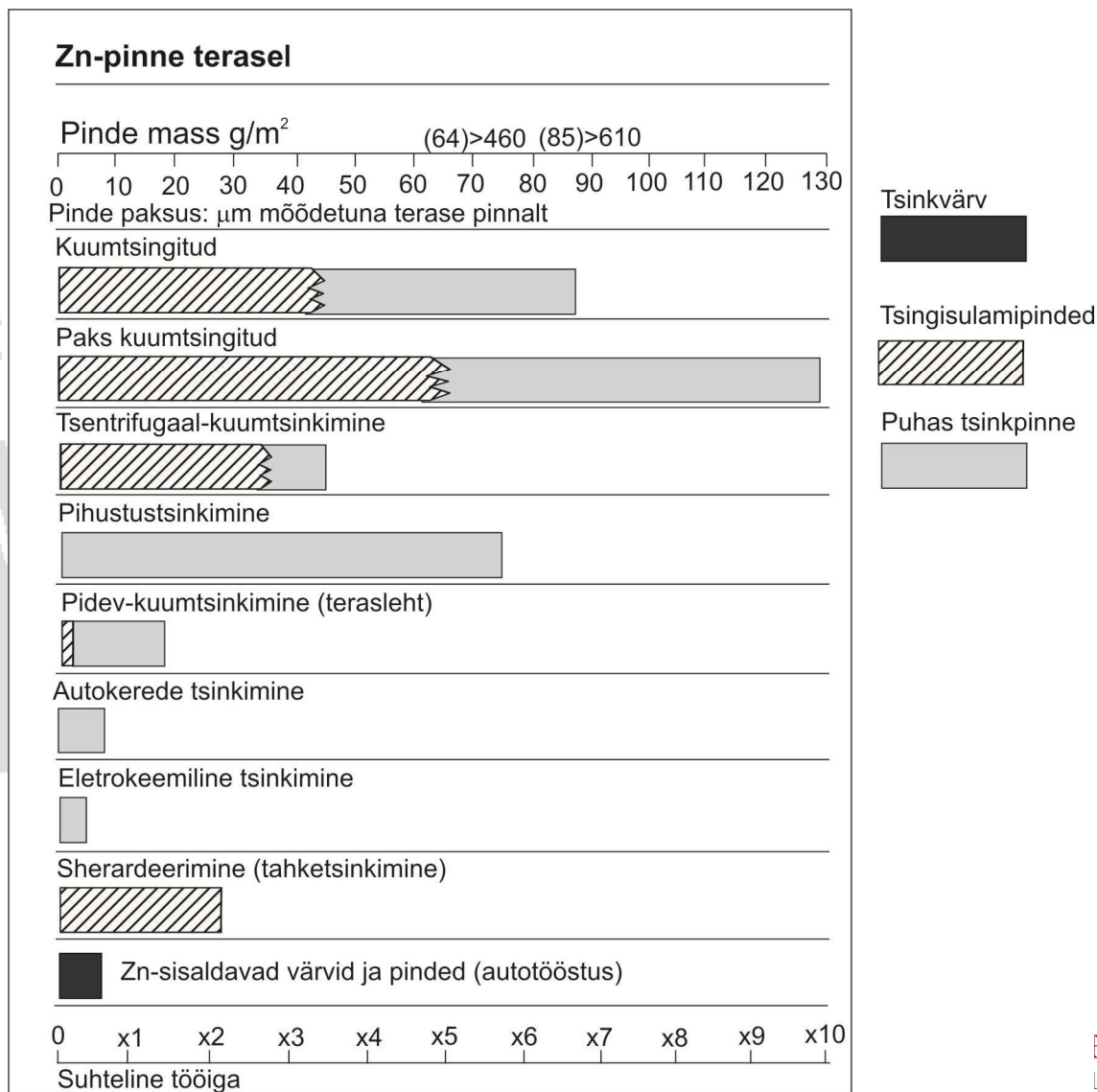
väga madal
madal
kõrge
eriti kõrge



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Zn-pinne paksus ja tööiga



Lubatud kinnitusvahendite kombinatsioonid (EN 1993)

Keskkonna- klass	Pleki materjal	Kinnitusvahendi materjal					
		Al Alumiinium	Elektrogalvaan. teras Pinna paksus >7µm	Kuumtsingitud teras ^b Pinna paksus >45 µm	Roostevaba teras ^d karastatud pinnaga 1.4006 (AISI410)	Roostevaba ^d 1.4301 (A2) Happekindel 1.4436 (A4)	Monel ^a
C1	A,B,C	X	X	X	X	X	X
	D,E,S	X	X	X	X	X	X
C2	A	X	–	X	X	X	X
	C,D,E	X	–	X	X	X	X
C3	S	X	–	X	X	X	X
	A	X	–	X	–	X	X
	C,E	X	–	X	(X) ^c	(X) ^c	–
	D	X	–	X	–	(X) ^c	X
	S	–	–	X	X	X	X
C4	A	X	–	(X) ^c	–	(X) ^c	–
	D	–	–	X	–	(X) ^c	–
	E	X	–	X	–	(X) ^c	–
	S	–	–	X	–	X	X
C5-1	A	X	–	–	–	(X) ^c	–
	D	–	–	X	–	(X) ^c	–
C5-M	S	–	–	–	–	X	–
	A	X	–	–	–	(X) ^c	–
	D	–	–	X	–	(X) ^c	–
	S	–	–	–	–	X	–

Tähistus

Materjal

A – Al kõikvõimalike viimistlustega

B – Pindeta teras

C – Kuumtsingitud (Z275) või alustsingitud (AZ 150) terasplekk

D – Kuumtsingitud + värvitud terasplekk

E – Alustsingitud (AZ605) terasplekk

Kasutus

x – soovitav

(x) – ainult teatud tingimustes

- – mittesoovitav

a – viitab ainult neetidele

b – viitab ainult kruvidele ja mutritele

c – isoleerseib, vananemiskindlast materjalist, pleki ja kinnitusvahendi vahel

d – roostevaba teras EN 10088

Atmosfäärikorrosiooni kategooriad (EN ISO 12944)

Keskkonna klass	Korrodeerumistase	Tüüpiliste keskkondade näited mõõdukas kliimas	
		Väliskeskkond	Sisekeskkond
C1	Väga madal	-	Puhta atmosfääriga köetavad hooned, nt kontorid, poed, koolid ja hotellid
C2	Madal	Madala saastetasemega atmosfäärid. Peamiselt maapiirkonnad.	Kütmata hooned, kus võib esineda kondensatsiooni, nt laohooned, spordihallid.
C3	Keskmine	Linna- ja tööstusatmosfäärid, mõõdukas vääveldioksiidi saaste. Madala soolsusega mereäärsed piirkonnad.	Kõrge niiskussisaldusega ja mõningase õhusaastega tootmishooned, nt toiduainetööstus, pesumajad, õlletehased ja meiereid.
C4	Kõrge	Tööstuspiirkonnad ja mõõduka soolsusega mereäärsed piirkonnad.	Keemiatehased, ujumisbasseinid, mereäärsed laevatehased.
C5-1	Väga kõrge (tööstuslik) (mereline)	Kõrge niiskussisaldusega ja agresiiivse atmosfääriga tööstuspiirkonnad, rannaäärsed piirkonnad.	Kõrge saastetasemega ja peaaegu pideva kondensatsiooniga hooned ja piirkonnad pideva kondensatsiooniga hooned ja piirkonnad.
C5-M	Väga kõrge (mereline)	Kõrge soolsusega mere- ja rannaäärsed piirkonnad	Kõrge saastetasemega ja peaaegu pideva kondensatsiooniga hooned ja piirkonnad.

Täna tähelepanu eest!

Priit Kulu

Tel. 620 3352

E-post: priit.kulu@ttu.ee



1918

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY