

Мале хидроелектране



УВОД

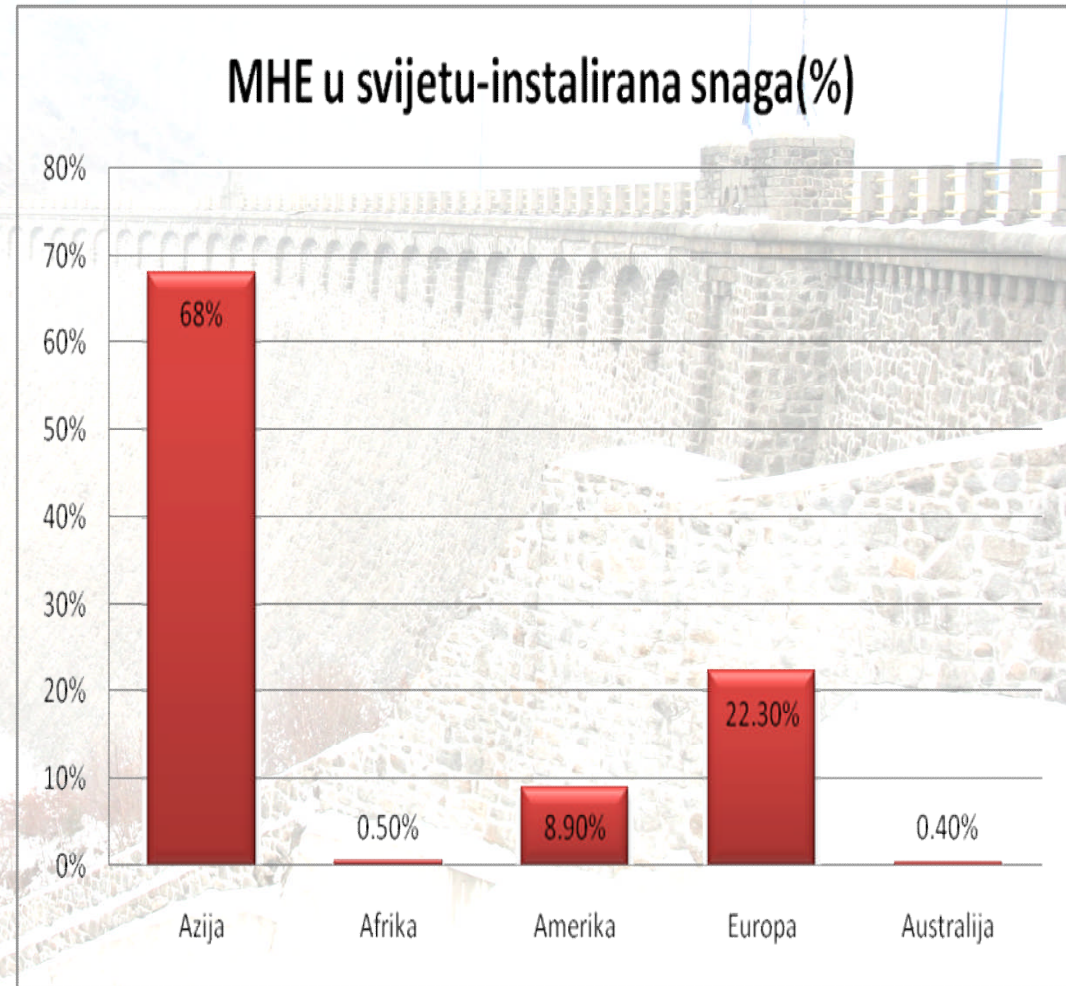
- Под појмом мале хидроелектране (МХЕ) подразумевају се хидроелектране које су инсталисане на малим водотоцима
- Основни критеријум на основу кога је дефинисана МХЕ је инсталисана снага
- Не постоји међународни консензус у погледу дефиниције МХЕ
- Најраспрострањеније је становиште да се под МХЕ подразумевају хидроелектране инсталисане снаге до 10 MW , што је став Европске комисије, Међународне уније произвођача и дистрибутера електричне енергије (UNIPEDÉ) и Европске асоцијације за мале хидроелектране (ESHA)
- За разлику од средњих и великих много се складније уклапају у окружење

УВОД

- МХЕ учествују у изравнавањима природних нерегулисаних протицаја и спречавању (смањењу) ерозије, чиме успоравају засипање великих акумулација, продужавају им век трајања, повећавају употребљивост и профитабилност
- Мале хидроелектране у контексту вишенаменског коришћења смањују миграције становништва из неразвијених подручја у густо насељене индустријске зоне

МХЕ у свету

- 22% ел. енергије добијено из (малих и великих) ХЕ
- Гранична снага МХЕ:
 - Шведска 1.5 MW
 - Италија 3 MW
 - Србија 10 MW
 - Француска 8 MW
 - Индија 15 MW
 - Кина 25 MW



Електрична енергија добијена помоћу хидропотенцијала

Електрична
енергија

Механичка енергија
обртања турбине

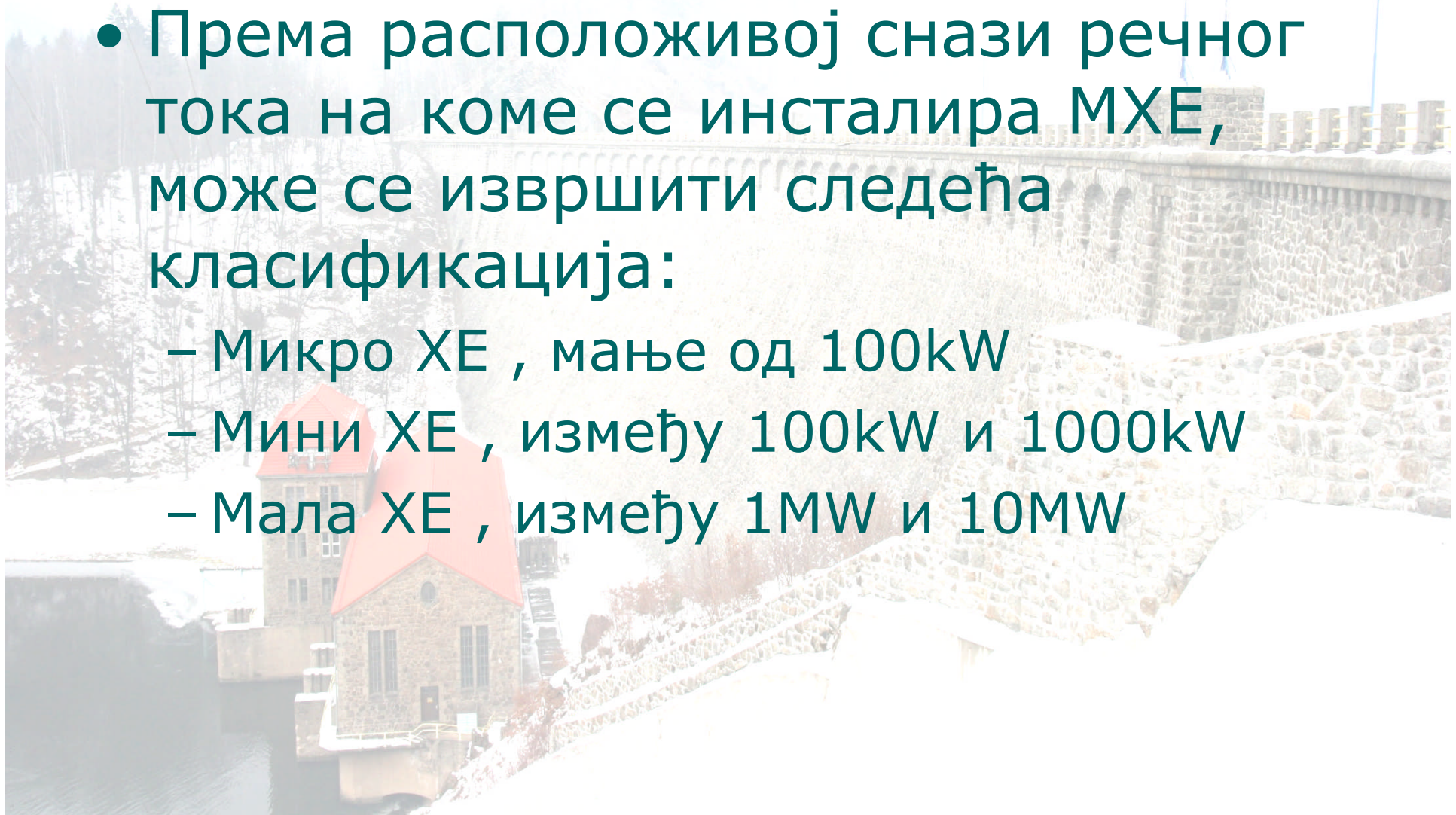
Кинетичка енергија струјања
воде

Потенцијална енергија воде



Подела МХЕ према инсталисаној снази

- Према расположивој снази речног тока на коме се инсталира МХЕ, може се извршити следећа класификација:
 - Микро ХЕ , мање од 100kW
 - Мини ХЕ , између 100kW и 1000kW
 - Мала ХЕ , између 1MW и 10MW



Подела МХЕ према могућностима акумулације

- Подела према постојању акумулационог базена:
 - Проточне МХЕ
 - Акумулационе МХЕ
- **Проточне МХЕ**, раде на тренутни доток воде
- Промена дотока воде је променљива у току године
- За правилан избор инсталисаног протока потребно је познавати годишњи профил протока речног тока
- Правило је да важи: $Q_{sr} < Q_{inst} < 1,5 Q_{sr}$
 - Где је Q_{inst} - инсталисани проток проточних МХЕ
 - Где је Q_{sr} - средњи вишегодишњи проток речног тока

Подела МХЕ према могућностима акумулације

- Код водотокова са великим протоком постављају се два агрегата од којих један ради стално, а други само у кишном периоду године
- Правилан избор инсталисаног протока МХЕ је најважнији задатак
- **Акумулационе МХЕ**, садрже акумулациони базен за поравнање дотока речног тока
- Акумулација служи за техничку и економску оптимизацију рада МХЕ

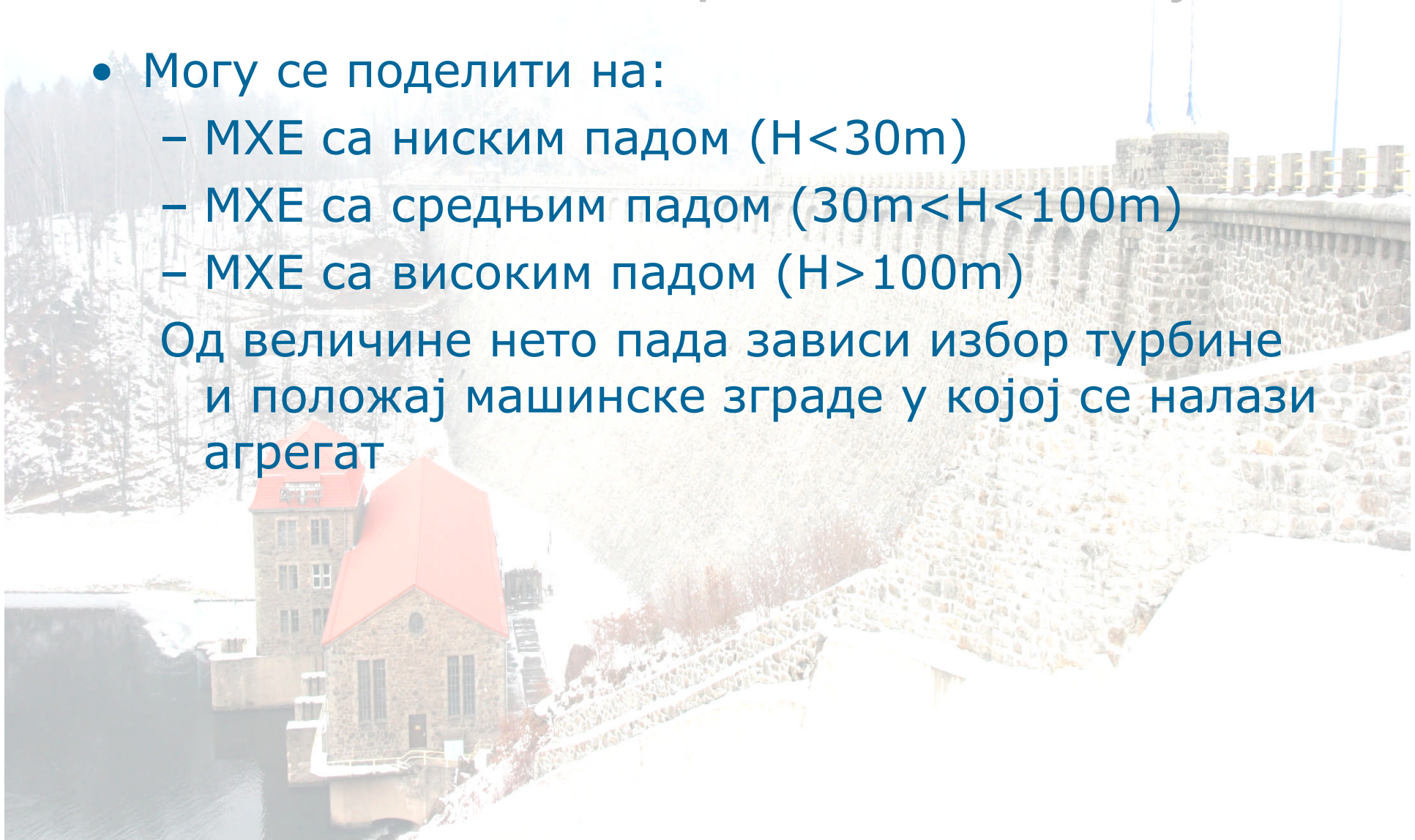


Подела МХЕ према нето паду

- Могу се поделити на:

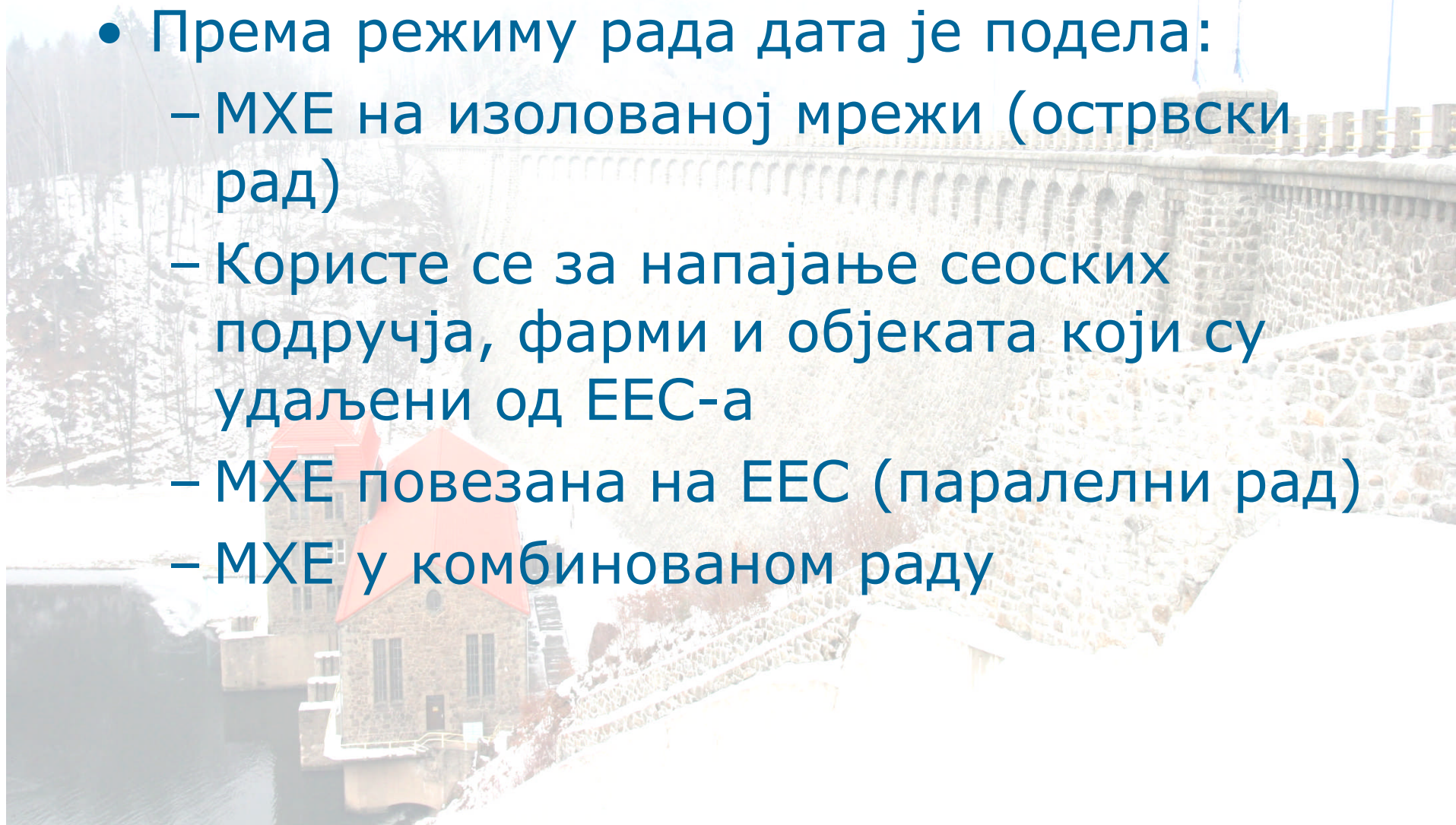
- МХЕ са ниским падом ($H < 30\text{m}$)
- МХЕ са средњим падом ($30\text{m} < H < 100\text{m}$)
- МХЕ са високим падом ($H > 100\text{m}$)

Од величине нето пада зависи избор турбине и положај машинске зграде у којој се налази агрегат



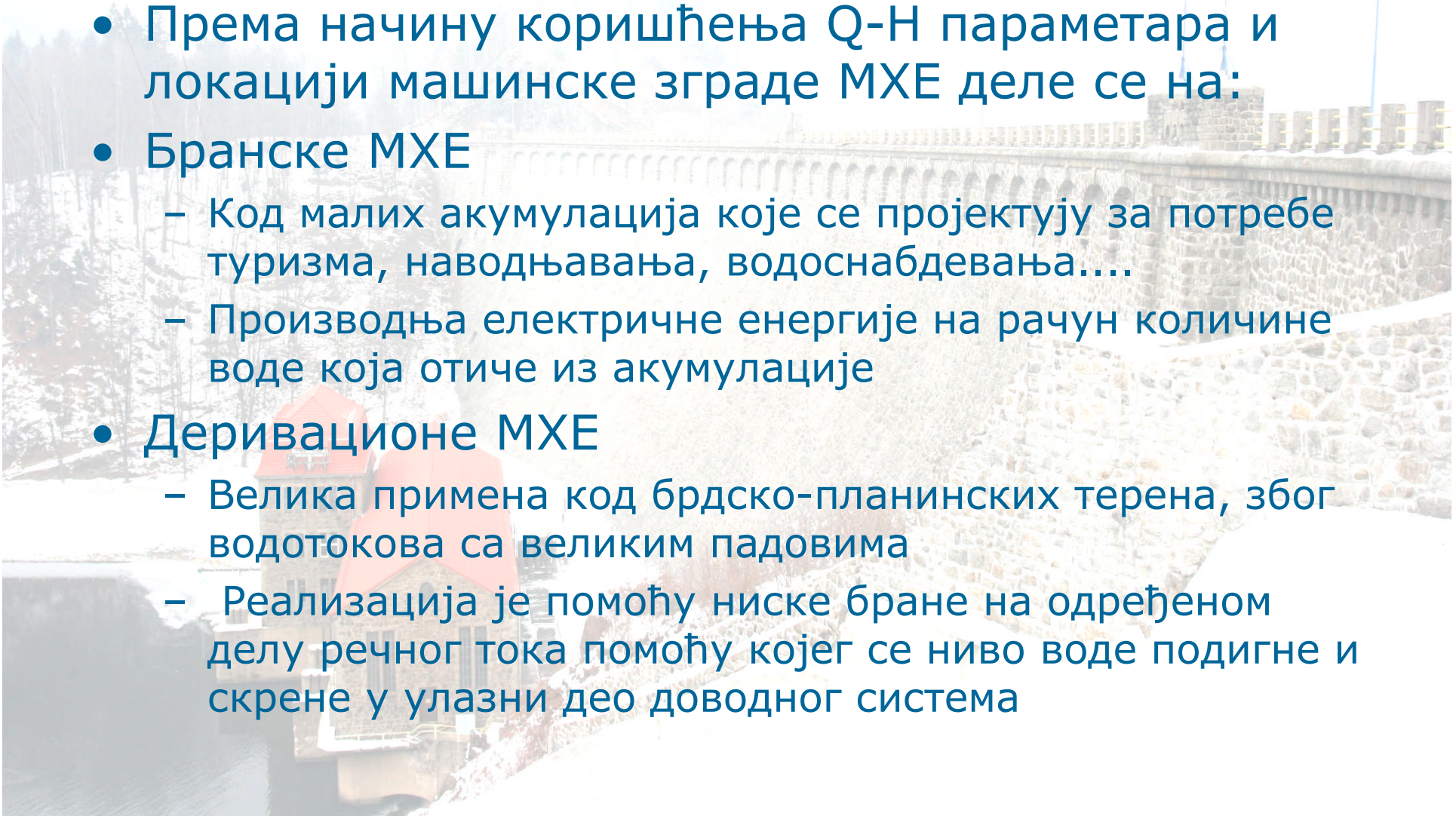
Подела МХЕ према режиму рада

- Према режиму рада дата је подела:
 - МХЕ на изолованој мрежи (острвски рад)
 - Користе се за напајање сеоских подручја, фарми и објеката који су удаљени од ЕЕС-а
 - МХЕ повезана на ЕЕС (паралелни рад)
 - МХЕ у комбинованом раду



Подела МХЕ према положају машинске зграде

- Према начину коришћења Q - H параметара и локацији машинске зграде МХЕ деле се на:
- Бранске МХЕ
 - Код малих акумулација које се пројектују за потребе туризма, наводњавања, водоснабдевања....
 - Производња електричне енергије на рачун количине воде која отиче из акумулације
- Деривационе МХЕ
 - Велика примена код брдско-планинских терена, због водотокова са великим падовима
 - Реализација је помоћу ниске бране на одређеном делу речног тока помоћу којег се ниво воде подигне и скрене у улазни део доводног система



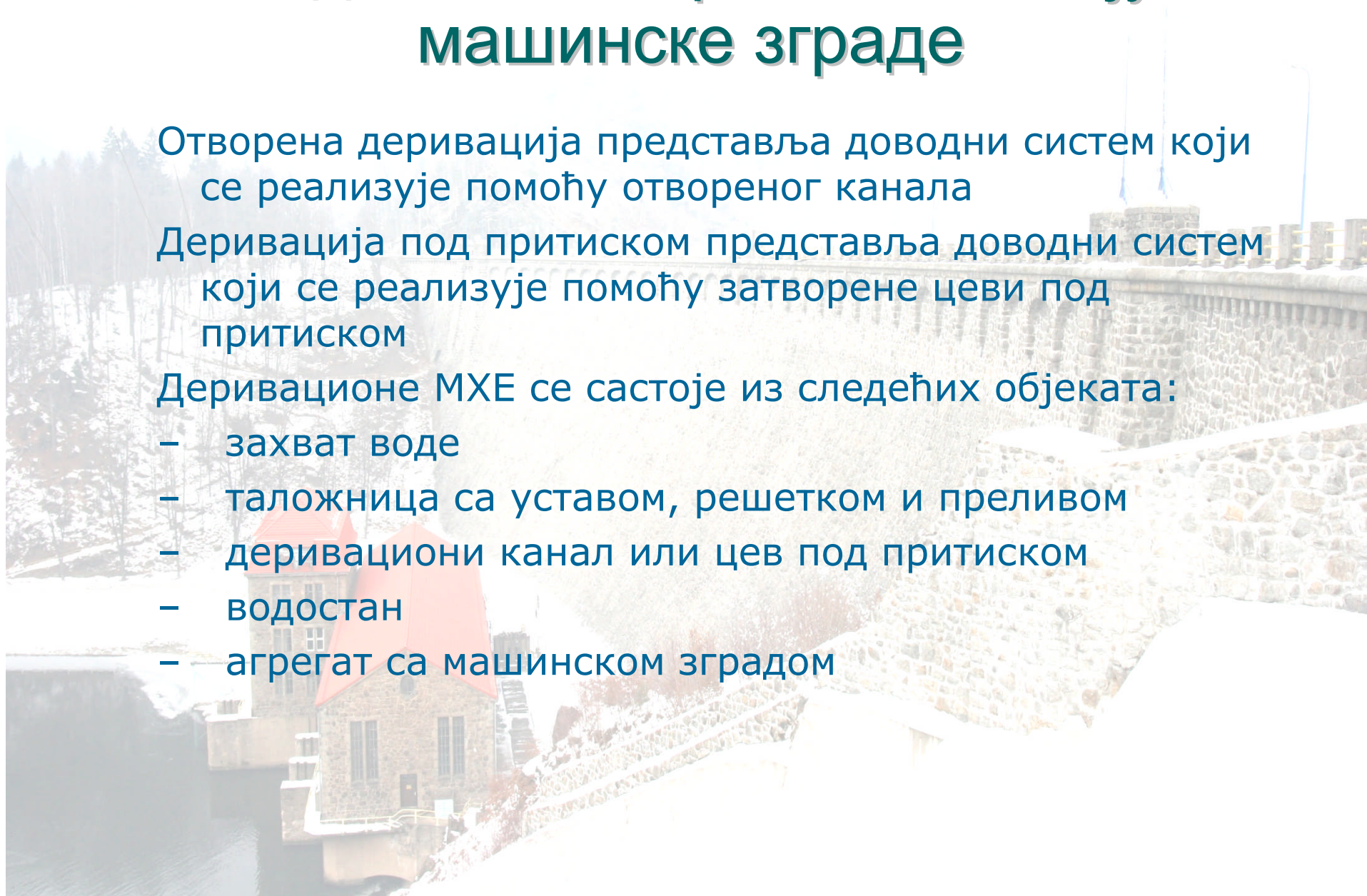
Подела МХЕ према положају машинске зграде

Отворена деривација представља доводни систем који се реализује помоћу отвореног канала

Деривација под притиском представља доводни систем који се реализује помоћу затворене цеви под притиском

Деривационе МХЕ се састоје из следећих објеката:

- захват воде
- таложница са уставом, решетком и преливом
- деривациони канал или цев под притиском
- водостан
- агрегат са машинском зградом



Подела МХЕ према положају машинске зграде

- Комбиноване МХЕ
 - Користе комбиновани пад који потиче од пада акумулације и пада деривације
- Проточне МХЕ
 - Имају веома мале могућности акумулације
 - Производе електричне енергије колико им допушта проток у воденом току



Управљање протоком код акумулационих МХЕ

- Подела МХЕ према управљању акумулацијом:
 - МХЕ са дневним равнањем акумулације
 - МХЕ са седмичним равнањем акумулације
 - МХЕ са дневним равнањем акумулације
 - У локалној мрежи може се увести акумулација да ноћу нема потрошње док је у току дана могућа снага која одговара протоку од $(1,5-3) Q_{sr}$

Q_{sr} – средњи дневни проток воде у акумулацији

Економски аспект-боље ел. енергију производити за време вишег дневног тарифног става

Технички аспект-боље је максимално ангажовати агрегате у МХЕ у време вишег тарифног става

Да би се обезбедило дневно равнање акумулације, запремина акумулационог базена за изравнање износи:

$$V[m^3] = Q_{sr} \cdot 12h = Q_{sr} \left[\frac{m^3}{s} \right] \cdot 43200[s]$$

Управљање протоком код акумулационих МХЕ

- Инсталирани проток мора да задовољава услов:

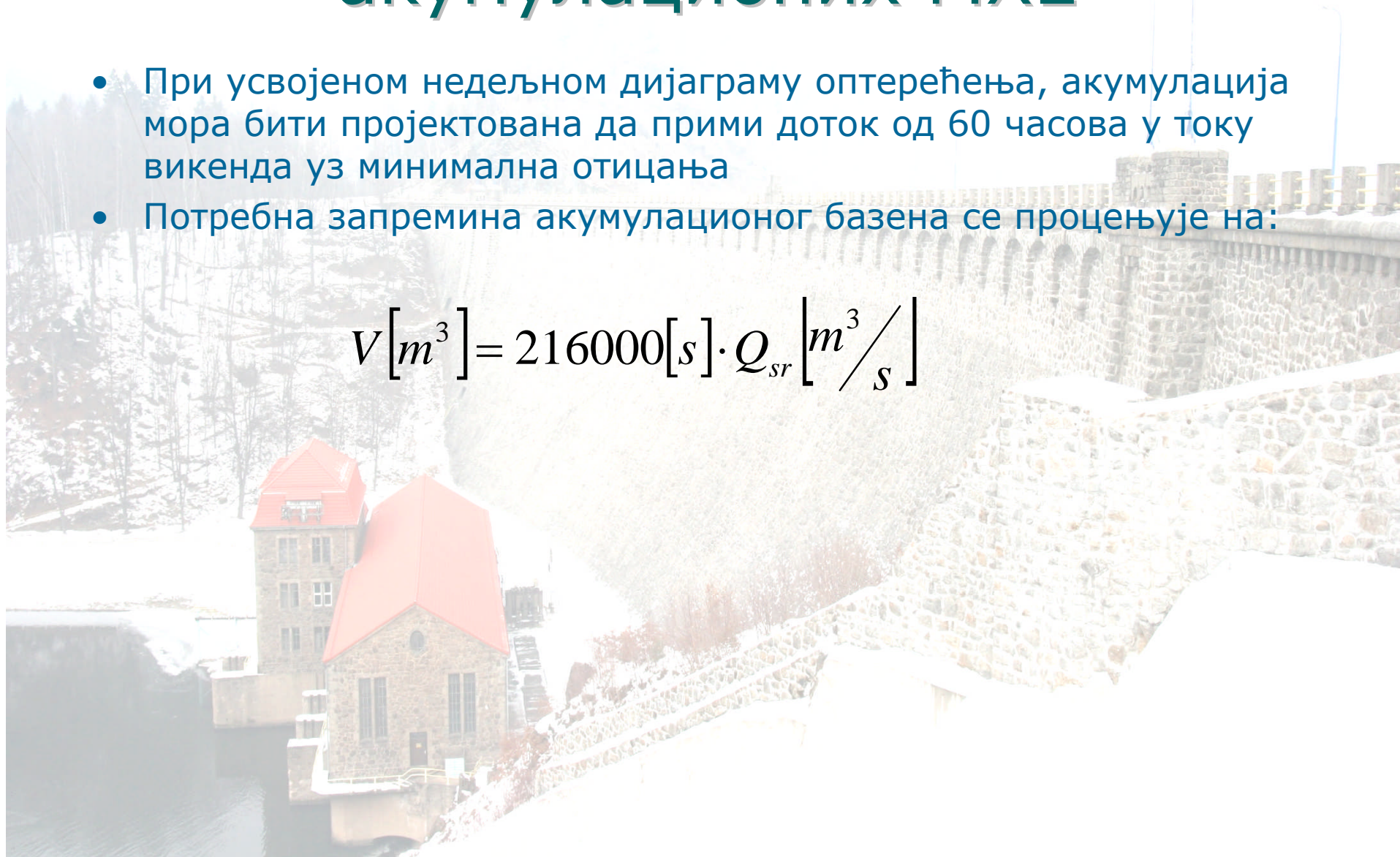
$$1,5 \cdot Q_{sr} \leq Q_{inst} \leq 3Q_{sr}$$

- Приказано дневно равнање акумулације омогућава да МХЕ дневно ради 12h, а 12h стоји
- **МХЕ са недељним равнањем акумулације**
- Врши се на основу промене дијаграма оптерећења у периоду од седам дана
- Оваква регулација захтева већи акумулациони базен од претходне акумулације
- У време викенда и ноћу у току радних дана акумулира се вода која се пропушта кроз турбински систем МХЕ у току радних дана када је потрошња у ЕЕС-у највећа.
- Границе у којима се креће Q_{inst} су:
- $2Q_{sr} < Q_{inst} < 4Q_{sr}$

Управљање протоком код акумулационих МХЕ

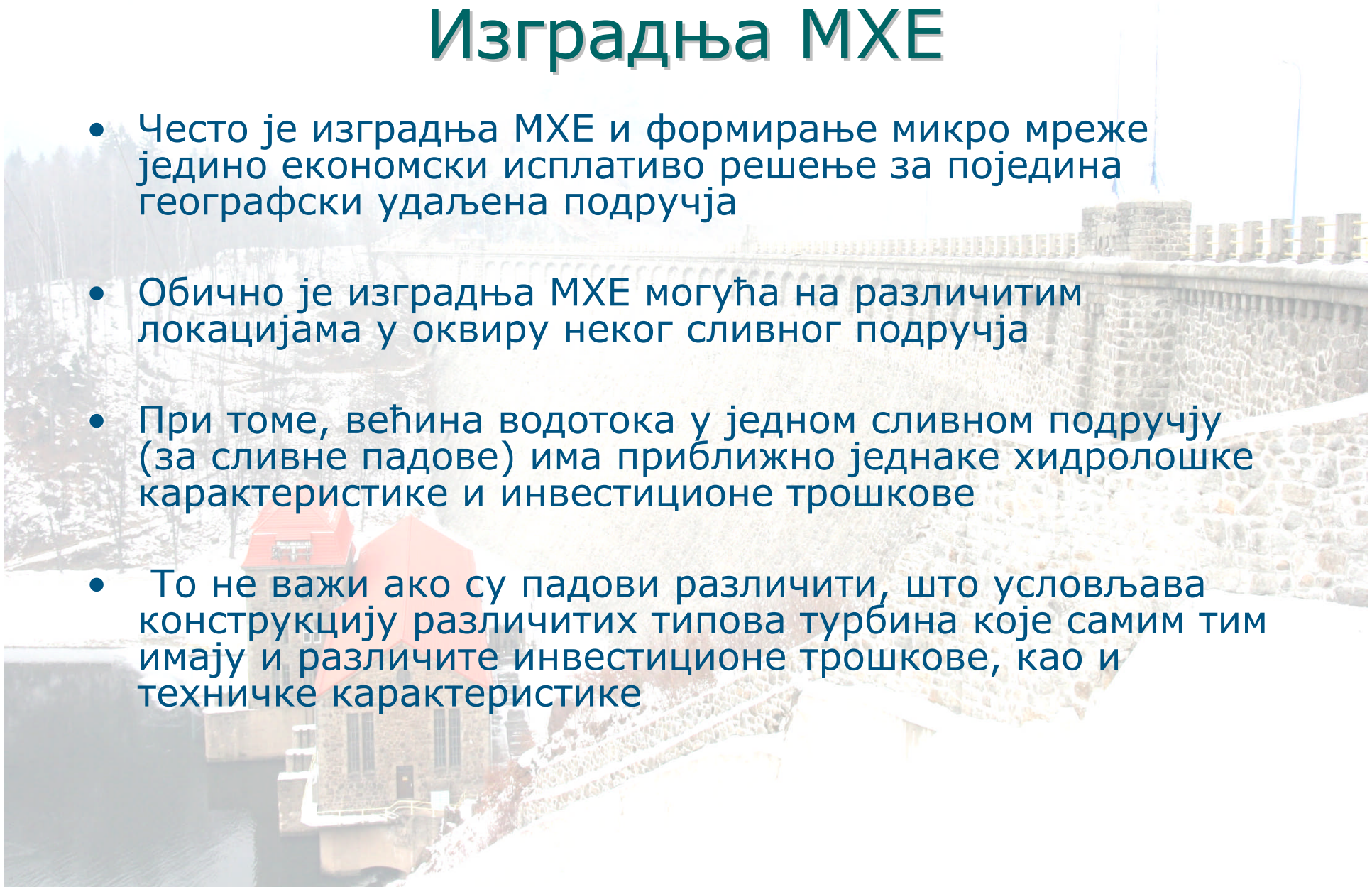
- При усвојеном недељном дијаграму оптерећења, акумулација мора бити пројектована да прими доток од 60 часова у току викенда уз минимална отицања
- Потребна запремина акумулационог базена се процењује на:

$$V [m^3] = 216000 [s] \cdot Q_{sr} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$



Изградња МХЕ

- Често је изградња МХЕ и формирање микро мреже једино економски исплативо решење за поједина географски удаљена подручја
- Обично је изградња МХЕ могућа на различитим локацијама у оквиру неког сливног подручја
- При томе, већина водотока у једном сливном подручју (за сливне падове) има приближно једнаке хидролошке карактеристике и инвестиционе трошкове
- То не важи ако су падови различити, што условљава конструкцију различитих типова турбина које самим тим имају и различите инвестиционе трошкове, као и техничке карактеристике



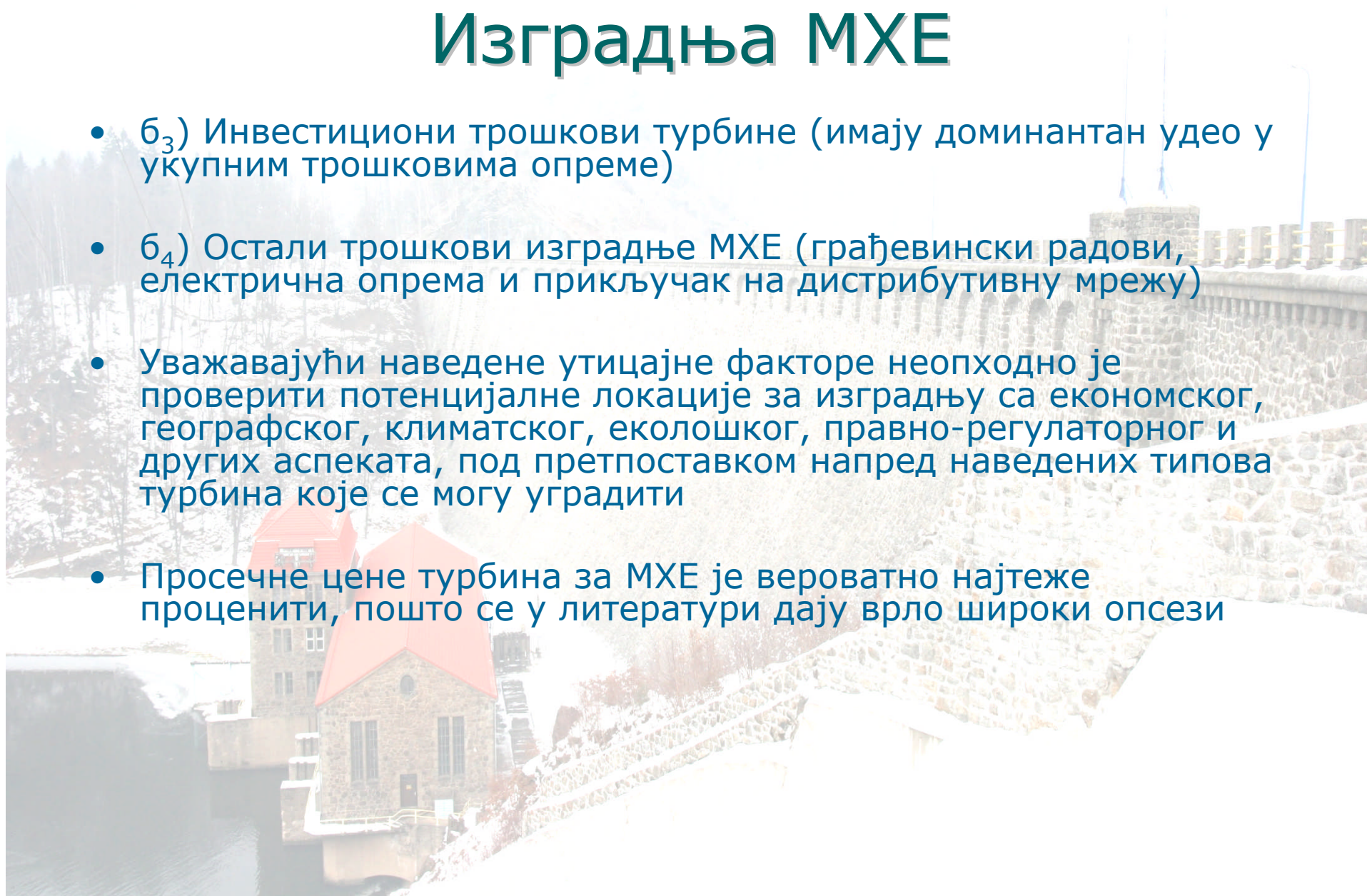
Изградња МХЕ

- Приликом прорачуна оптималног плана изградње МХЕ у неком сливном подручју постоји више утицајних фактора, који се могу сврстати у две групе:
 - a. Карактеристике локације
 - a_1) Максималан расположиви пад (у m) и средњи годишњи проток (у m^3/s) за сваку локацију
 - a_2) Нормализована крива трајања протока (нормализовани хидрограм)
 - b. Карактеристике МХЕ
 - b_1) Типови турбине који одговарају максималном расположивом паду и максималном годишњем протоку
 - b_2) Ефикасност турбине при смањеном протоку



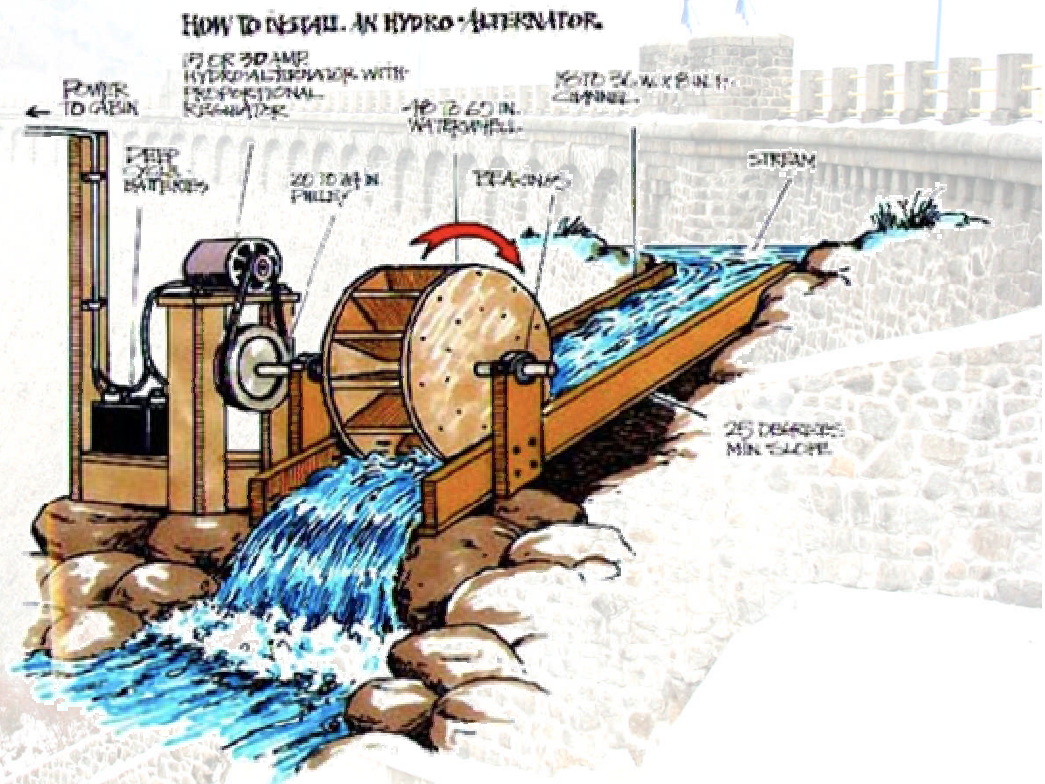
Изградња МХЕ

- б₃) Инвестициони трошкови турбине (имају доминантан удео у укупним трошковима опреме)
- б₄) Остали трошкови изградње МХЕ (грађевински радови, електрична опрема и прикључак на дистрибутивну мрежу)
- Уважавајући наведене утицајне факторе неопходно је проверити потенцијалне локације за изградњу са економског, географског, климатског, еколошког, правно-регулаторног и других аспеката, под претпоставком напред наведених типова турбина које се могу уградити
- Просечне цене турбина за МХЕ је вероватно најтеже проценити, пошто се у литератури дају врло широки опсези



Основни делови МХЕ

- Брана или преграда
- Захват
- Водена комора
- Проточни цевовод
- Машински простор
- Одвод воде



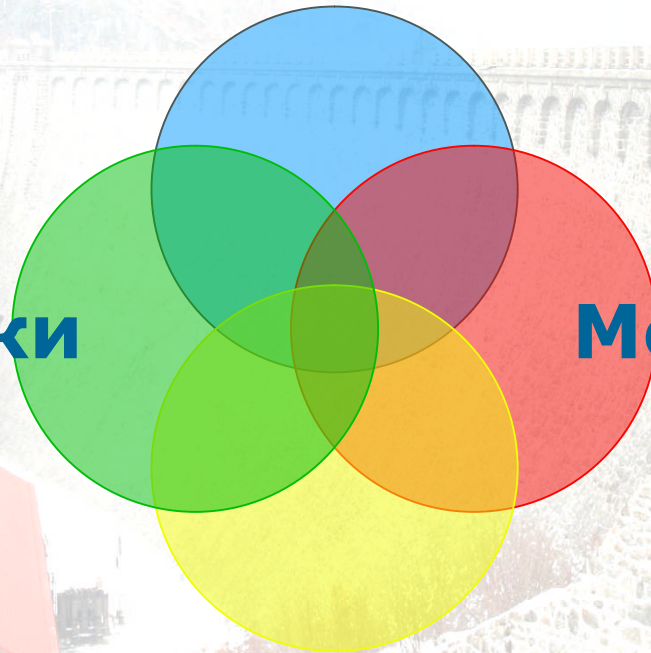
Фактори за избор локације изградње ХЕ

Хидролошки

Морфолошки

Метеоролошки

Топографски



Фактори за избор локације изградње ХЕ

- Поступак избора локације за градњу МХЕ захтева пројектантску обраду шире локације на којој је утврђено постојање хидроенергетског потенцијала (Q_{sr} и H)
- За избор локације МХЕ и техничко решење потребни су следећи подаци:
 - Топографски
 - Геодетски
 - Геолошки
 - Геомеханички
 - Метеоролошки
 - Хидролошки
 - Економско-водопривредни

Фактори за избор локације изградње ХЕ

- Топографски подаци су садржани у топографским картама које треба да обухвате: водозахват, доводни и одводни канал, таложницу, цевовод под притиском, водостан, простор акумулације (успор реке), приступни пут....
- Геодетски подаци обухватају геодетска снимања на основу којих се добија:
 - ситуација водозавата
 - ситуација машинске зграде
 - ситуација трасе одводног канала
 - уздужни пресек довода деривације од водозавата до таложнице
- геодетске координате фиксних тачака свих објеката МХЕ

Фактори за избор локације изградње ХЕ

- Геолошке подлоге приказују:
 - Тектонски склоп и сеимичност
 - Хидрографију и климу
 - Ерозију
 - Хидролошке прилике
 - Инжењерско-геолошке одлике терена
 - Геолошке услове изградње хидротехничке грађевине
- Геомеханичке подлоге приказују:
 - Геомеханичка карта и карактеристични профили испитиваног подручја
 - Геомеханички профили истражних бушотина и ископа
 - Испитивање узорка тла у лабораторији (садржина воде, специфична и запреминска тежина тла, збијеност тла, садржина органских материја...)
 - Параметри потребни за прорачуне (порозност тла, збијеност тла, коефицијент трења између бетона и тла....)

Фактори за избор локације изградње ХЕ

- Метеоролошке подлоге
 - Представљају климу у одређеном временском периоду и на посматраном сливу
 - Падавине (максималне 24-часовне, месечне, годишње, јаке, број дана са снегом и сл...)
 - Температуру ваздуха (средња, месечна и годишња, максимална и минимална)
 - Влажност ваздуха
 - Максималне годишње брзине ветра
- Хидролошке подлоге су од посебног значаја за пројектовање МХЕ и оне се односе на:
 - Физичке параметре слива (површина и облик слива, пад тока, тежиште слива, дужина тока и друго)
 - Криву протицања $Q = f_1(H)$
 - Хидрограм средњих дневних протока-отицања $Q = f_2(H)$
 - Криву трајања средњих дневних протицања
 - Средњи месечни проток....

Фактори за избор локације изградње ХЕ

- Економско-водопривредне подлоге сагледавају и прорачунавају директне штете које проузрокује изградња објеката МХЕ
- Сагледавају се користи будућих корисника вода и њихове потребе

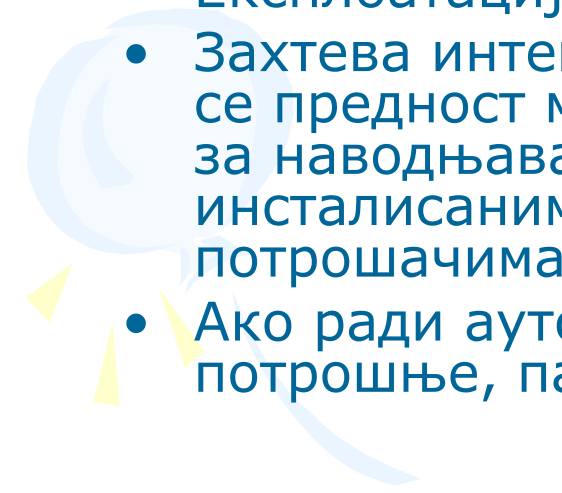
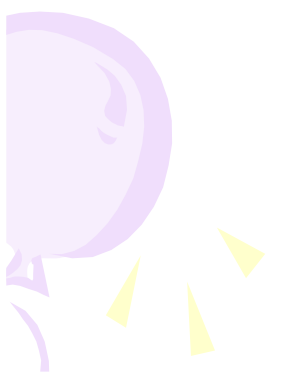
Предности МХЕ у односу на ВХЕ

- Нема трошкова дистрибуције ел. енергије
- Нема негативног утицаја на еко-систем
- У односу на велике ХЕ нема плавњења великих подручија (како би се обезбедио простор за акумулацију воде)
- Могу обезбедити наводњавање земљишта, као и снабдевање водом околних насеља, изградњу рибњака и заштиту од поплава
- Смањује инвестициона улагања за електрификацију удаљених насеља од опште електричне мреже, а електрификацијом таквих руралних насеља доприноси се унапређење њиховог развоја
- Експлатишу се уз веома мале материјалне трошкове
- Радни век је веома дуг, практично неограничен: просечан век је 30 година, мада има МХЕ које раде већ 80 година



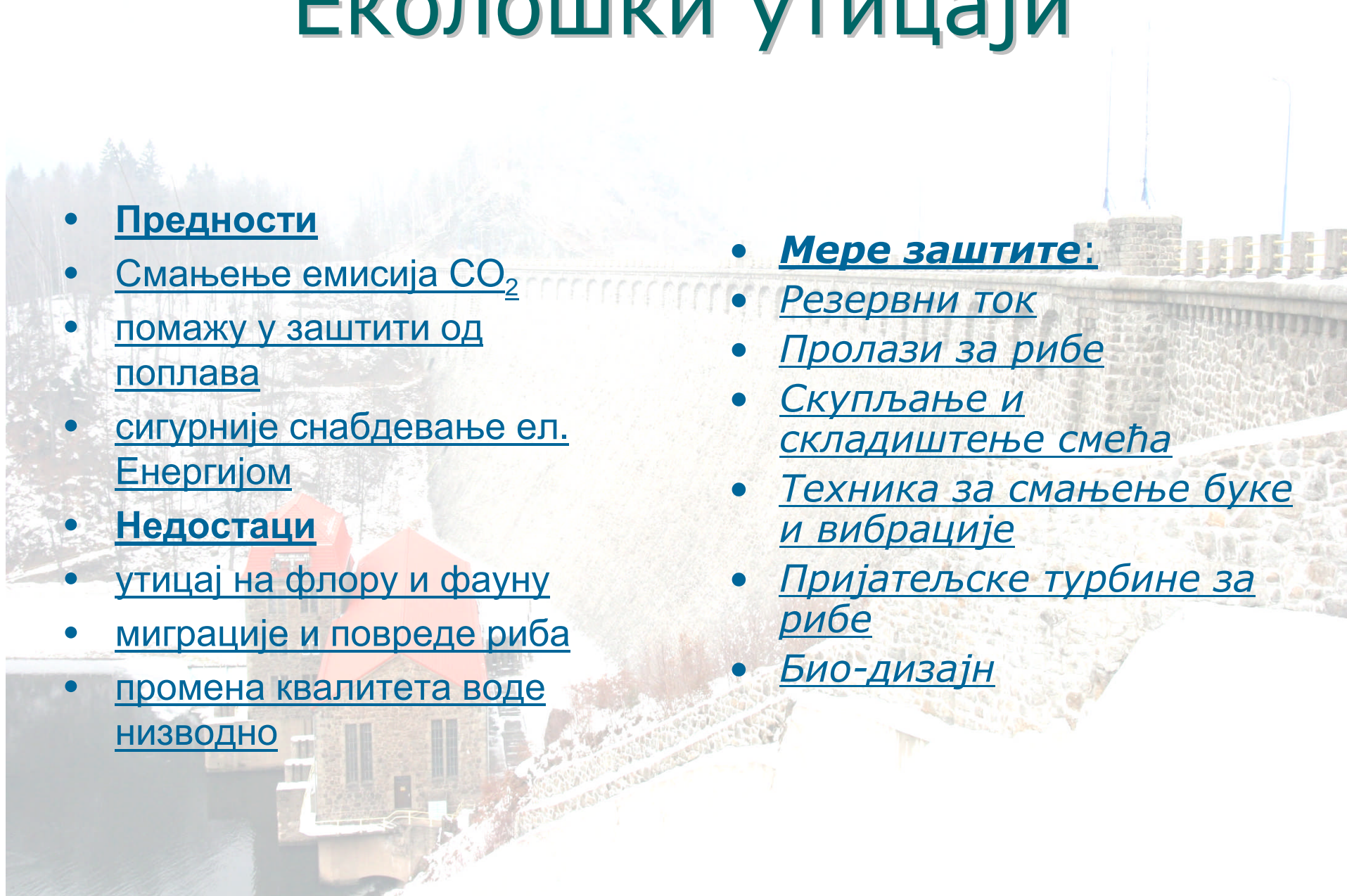


Мане МХЕ у односу на ВХЕ

- Високи инвестициони трошкови по инсталисаном kW
 - Велики трошкови истраживања у односу на укупне инвестиције
 - Експлоатација зависи од постојећих ресурса
 - Захтева интегрално водопривредно решење, с тим што се предност мора дати системима за снабдевање водом и за наводњавање, зато МХЕ морају радити са инсталисаним протоком који је одређен према другим потрошачима
 - Ако ради аутономно, производња ел. енергије зависи од потрошње, па вишак остаје неискоришћен
- 
- 

Еколошки утицаји

- Предности
 - Смањење емисија CO₂
 - помажу у заштити од поплава
 - сигурније снабдевање ел. Енергијом
 - Недостаци
 - утицај на флору и фауну
 - миграције и повреде риба
 - промена квалитета воде
НИЗВОДНО
- Мере заштите:
 - Резервни ток
 - Пролази за рибе
 - Скупљање и складиштење смећа
 - Техника за смањење буке и вибрације
 - Пријатељске турбине за рибе
 - Био-дизајн



Узгајање рибе на доводном каналу МХЕ



Калкулатор

1 GWh ел. енергије из МХЕ

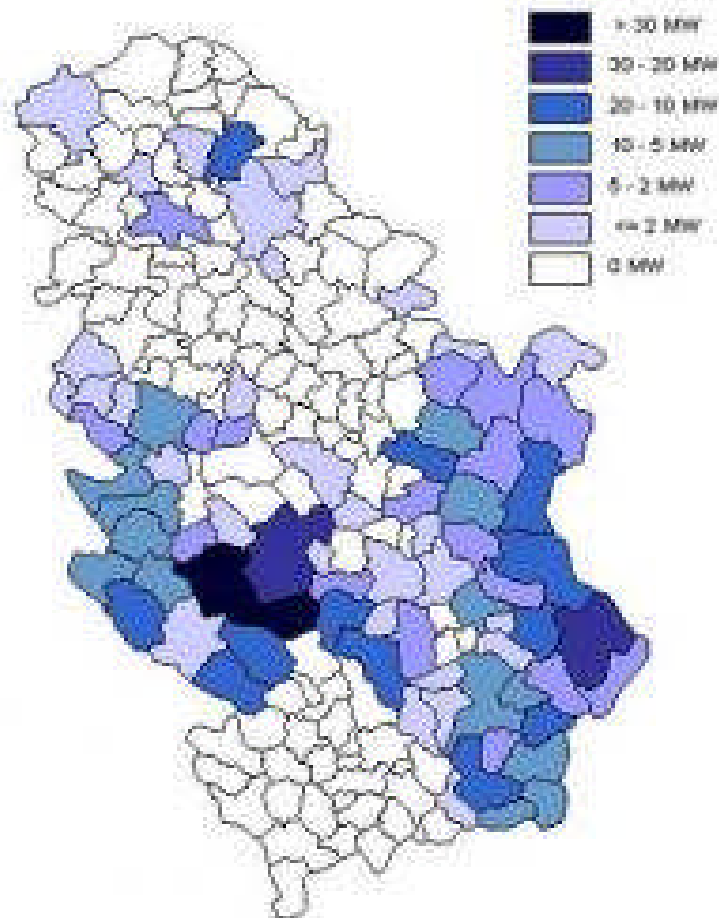
Избегавање емисије **480** тона CO₂

годишње снабдевање
450 домаћинстава

уштеда **220** t нафтног деривата
уштеда **335** t угља

МХЕ у Србији

- Потенцијал малих водотокова, на којима се могу градити МХЕ, је 3% од укупног потенцијала обновљивих извора у Србији





МХЕ у Србији

- Искоришћењем укупног енергетског потенцијала МХЕ-а могуће је произвести око 4,7% од укупне производње електричне енергије у Републици Србији (34 400 GWh/год остварено у 2006. год.) и око 15% садашње производње електричне енергије у хидроелектранама (10 900 GWh/год)

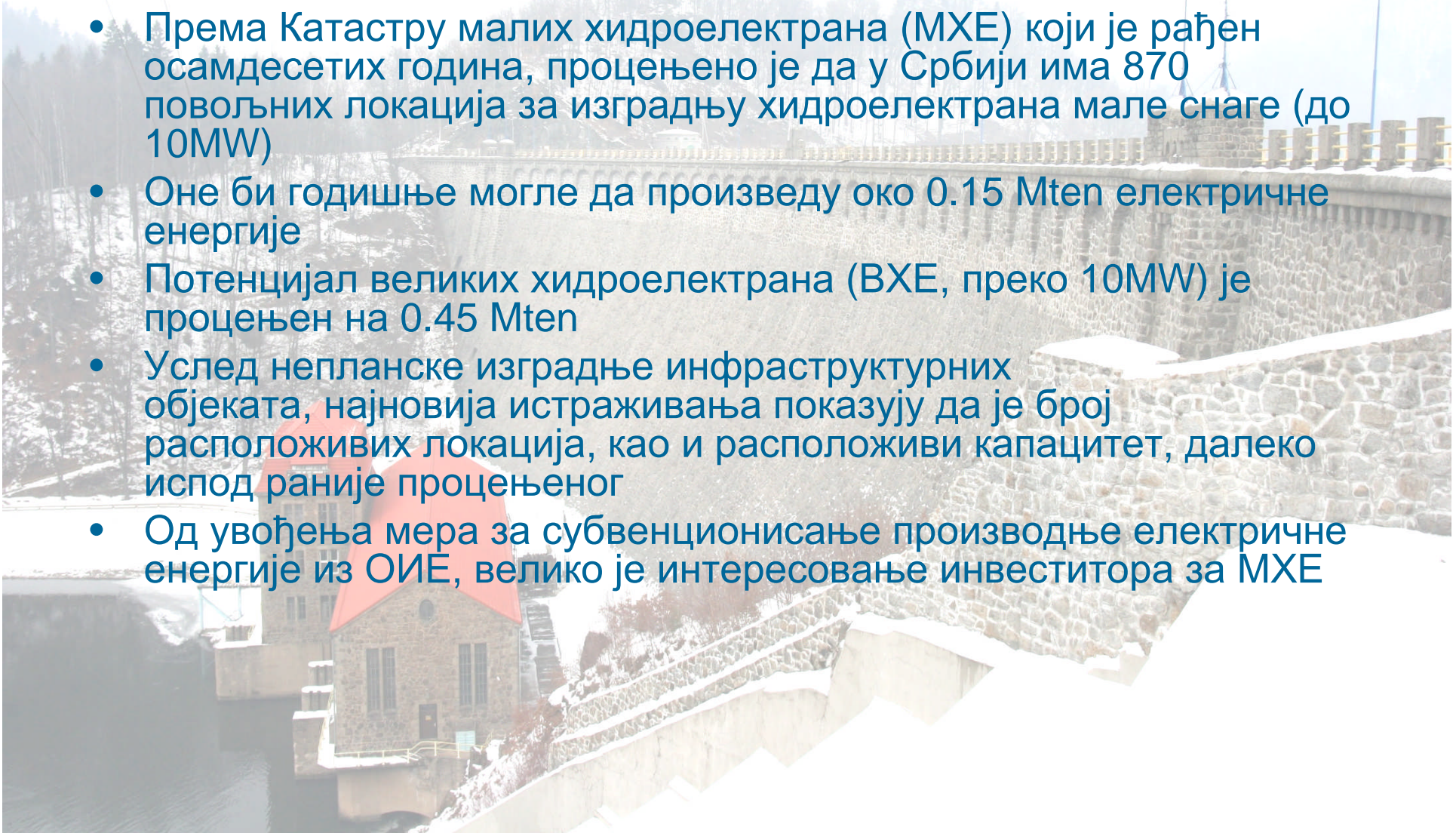
МХЕ у Србији

- Укупни хидропотенцијал Србије 31.000 GWh годишње
- Мали водотокови у Србији могу остварити снагу 500 MW и производњу од 2400 GWh /god
- Катастар МХЕ
- Могућност малих хидропотенцијала још 453 MW, 1600 GWh /god на 868 могућих локација
- Ван погона је 38 МХЕ



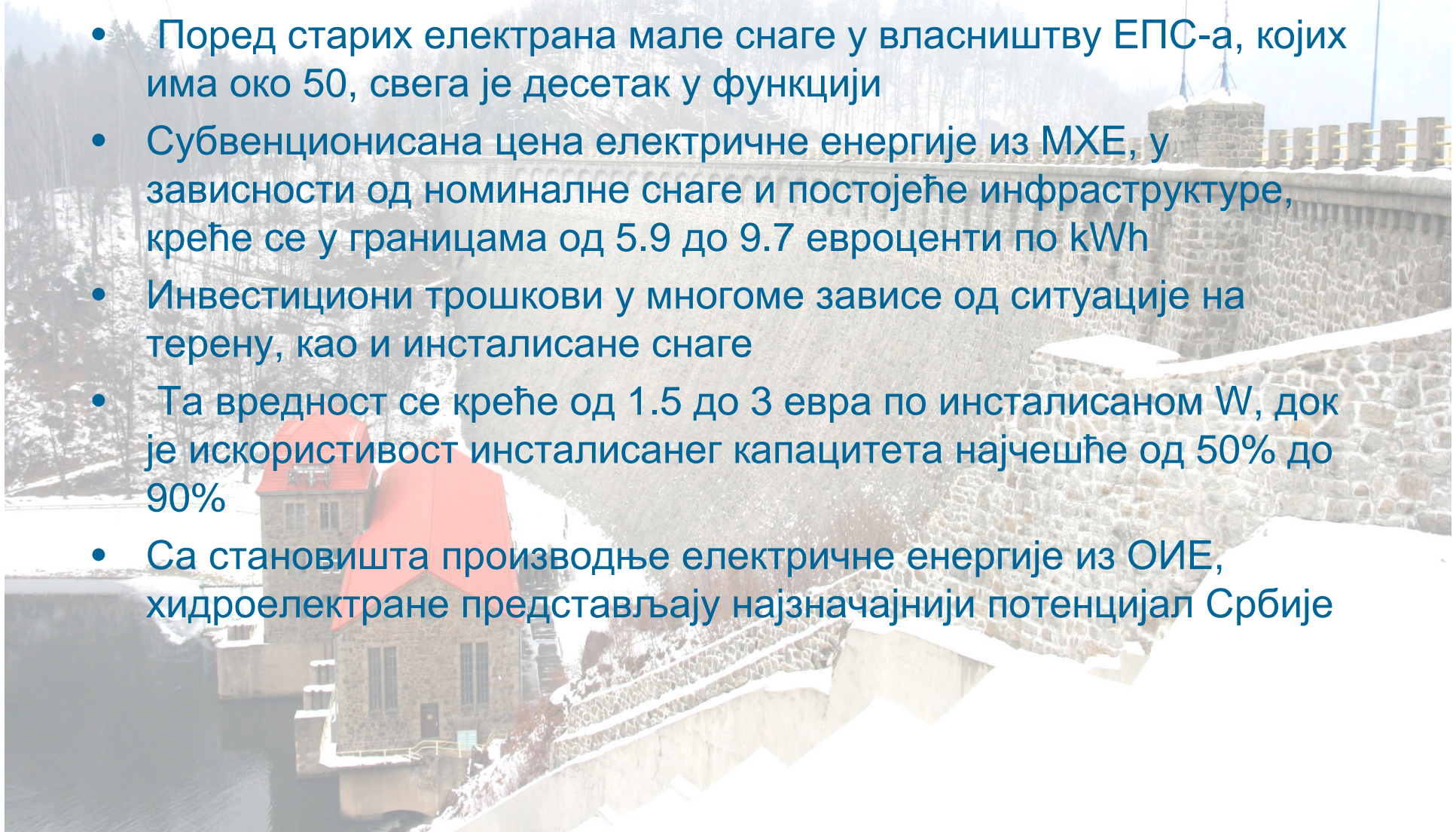
МХЕ у Србији

- Према Катастру малих хидроелектрана (МХЕ) који је рађен осамдесетих година, процењено је да у Србији има 870 повољних локација за изградњу хидроелектрана мале снаге (до 10MW)
- Оне би годишње могле да произведу око 0.15 Mten електричне енергије
- Потенцијал великих хидроелектрана (ВХЕ, преко 10MW) је процењен на 0.45 Mten
- Услед непланске изградње инфраструктурних објеката, најновија истраживања показују да је број расположивих локација, као и расположиви капацитет, далеко испод раније процењеног
- Од увођења мера за субвенционисање производње електричне енергије из ОИЕ, велико је интересовање инвеститора за МХЕ



МХЕ у Србији

- Поред старих електрана мале снаге у власништву ЕПС-а, којих има око 50, свега је десетак у функцији
- Субвенционисана цена електричне енергије из МХЕ, у зависности од номиналне снаге и постојеће инфраструктуре, креће се у границама од 5.9 до 9.7 евроценти по kWh
- Инвестициони трошкови у многоне зависе од ситуације на терену, као и инсталисане снаге
- Та вредност се креће од 1.5 до 3 евра по инсталисаном W, док је искористивост инсталисанег капацитета најчешће од 50% до 90%
- Са становишта производње електричне енергије из ОИЕ, хидроелектране представљају најзначајнији потенцијал Србије





Постојећи пројекти у Србији

- Предузеће Енергопројект-Хидроинжењеринг у сарадњи са Институтом за водопривреду „Јарослав Чарни“ израдило је „Катастар МХЕ на територији Србије“
- Овај катастар садржи податке о локацијама које су погодне за изградњу МХЕ, са конкретним решењима и техничким подацима
- Поменута студија је завршена 1987. године и од тада се са радовима ове области стало
- Катастар обухвата површину од 56000km² и садржи податке за 856 локација погодних за изградњу МХЕ, снаге изнад 100kW, што значи да микро ХЕ нису обухваћене
- Локације се налазе на малим планинским рекама, што јасно имплицира да су у питању углавном неприступачни предели
- По том пројекту укупна инсталисана снага би износила 443MW, са годишњом производњом од 1.55 TWh
- Ако би се та енергија увезла морало би да се плати око 47 милиона долара
- У највећем броју случајева у питању су брдско-планински токови са нето падом и малим протоком

Нове методе у планирању МХЕ

- Овде се пре свега мисли на софтверске методе, који се разликују у последње време
- Њима се олакшава идентификација повољних локација, прогноза потребе за енергијом, избор опреме, планирање потрошње, процена трошкова и студије исплативости: све ово наравно значи и смањење трошкова пројекта и велику уштеду времена
- Сви ови софтвери имају за циљ прогнозирање корисне енергије из конкретне хидро шеме
- При томе користе две методе: Flow Duration Curve (FDC) и Simulated Steam Flow (SSF)
- У првој методи се прибављају карактеристике захвата: површина, количина падавина, испаравање и тип земљишта
- На основу тога се процени средњи проток и даље се изабере одговарајућа FDC крива (из спектра од 30 карактеристичних кривих, добијених статистички)
- На основу добијене криве програм препоручује једну или више турбина и за сваки избор даје прогнозирану годишњу производњу електричне енергије
- Други метод користи постојећу базу података о регистрационим протоцима или користи неки симулациони који на основу метаолошких података ову базу креира
- На овај начин може бити израчуната дневна или производња електричне енергије по часу

Општине са највећим потенцијалом за изградњу малих хидроелектрана

Број локација за изградњу МНЕ	Проценјена снага (kW)	Мogućа производња (MWh)	Општина
64	34.3	121.203	Ivanjica
35	33.284	109.692	Raška
40	25.925	94.026	Pirot
40	23.458	78.394	Kraljevo
47	18.8	73.971	Prijepolje
9	17.576	60.21	Zaječar
22	17.045	72.212	Crna Trava
20	15.825	55.1	Novi Pazar
8	15.69	58.85	Bela Palanka
8	11.216	25.85	Despotovac
30	10.974	45.391	Brus
19	10.706	30.18	Knjaževac
32	10.185	38.438	Vranje
22	10.141	38.985	Kuršumlija
16	9.875	35.318	Priboj
30	9.8	36.099	Trgovište
13	9.785	30.937	Valjevo
10	9.305	27.419	Tutin
16	8.945	24.38	Žagubica
17	8.675	34.553	Bosilegrad
19	8.625	32.877	Čajetina
17	8.32	29.72	Leskovac
21	8.31	36.832	Nova Varoš
27	8.17	32.543	Surdulica
13	7.99	28.262	Vlasotince
19	7.64	27.395	Bajina Bašta
12	7.07	27.5	Niš
8	6.74	20.05	Boljevac
12	5.346	17.928	Užice
15	5.325	19.862	Ljubovija
7	4.73	10.23	Negotin
11	4.69	16.578	Vladičin Han
6	4.655	20.283	Arilje
14	4.515	19.459	Babušnica
1	3	13.7	Novi Sad
1	850	4.7	Vrbas
1	620	2.27	Bečej
1	1.22	8.19	Bela Crkva



СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ТУРБИНА ЗА МХЕ

- Снага на вратилу турбине је дефинисана релацијом:

$$P_T = \eta_T \cdot 10 \cdot Q \cdot H$$

- где су:


- $Q(m^3 / s)$ - проток кроз турбину

- $H(m)$ - нето пад

- η_T - степен искоришћења турбине

- Степен искоришћења турбине је директно дефинисан губицима у турбинском колу, који се могу поделити на: хидраулике, запреминске и механичке

- Хидраулички губици састоје се од: ударних губитака на улазу у спроводно коло и ротор турбине, губитака због трења у проточном систему и од губитака на излазу из усисне цеви





СТЕПЕН ИСКОРИШЋЕЊА ТУРБИНА ЗА МХЕ

- Запремински губици састоје се од: губитака у лавиринтима и од губитака у зазору између лопатица и спољашњег зида лопатице и главчине обртног кола
- Механички губици обухватају губитке у лежајевима и у преносним помоћним механизмима
- Степен искоришћења турбине зависи од радног режима турбине, односно од протока.
- Турбине су пројектоване да имају максимални степен искоришћења при инсталисаном протоку



ЛИТЕРАТУРА

- Електране, М.Ђурић, Ж.Ђуришић,
А.Чукарић, В.Илић, Беопрес,
Београд 2010